

Aula 18 - Profº Felipe

*PETROBRAS (Engenharia de
Equipamento - Mecânica)
Conhecimentos Específicos - 2021
(Pós-Edital)*

Autor:

Felipe Canella, Juliano de Pelegrin

09 de Janeiro de 2022

Sumário

TRANSFERÊNCIA DE CALOR	3
Mecanismos de Transferência de Calor	4
CONDUÇÃO	5
Analogia com sistemas elétricos - condução.....	11
Condução em formatos cilíndricos e esféricos	13
Propriedades termofísicas importantes - condução	14
CONVECÇÃO	16
Analogia com sistemas elétricos - convecção	20
Adimensionais da convecção.....	21
Aletas	25
RADIAÇÃO	28
Corpo negro e corpo cinzento.....	30
Analogia com sistema elétrico - radiação.....	34
Propriedades relevantes da radiação.....	34
Casos combinados de mecanismos	38
Considerações finais	44
Questões comentadas	45



APRESENTAÇÃO DA AULA

Estrategista, nesta aula veremos os principais tópicos inerentes ao mundo da **Transferência de Calor** e sua grande importância para a Engenharia.

Falaremos sobre os principais **mecanismos** de transferência (**condução, convecção e radiação**), além de trazer alguns exemplos práticos. Para embasar nosso estudo, utilizaremos as grandes obras de renomados autores da literatura específica.

Ao término da aula, compilei muitas questões de diferentes bancas para que você "destrua" com a prova no dia "D"! Busquei questões das grandes bancas do país e todas elas estão comentadas para que você entenda, assim que você as resolver, qual foi o motivo de um eventual erro.

Como de praxe, não deixe de me seguir nas minhas redes sociais para dicas e questões comentadas que compartilho:



[profcanelas](https://www.instagram.com/profcanelas)



t.me/profcanelas

"Simbora" para mais uma? Foco, força e fé! Você está a cada aula, mais próximo do seu sonho! Avante, Estrategista!



TRANSFERÊNCIA DE CALOR

Estrategista, diferentemente do campo de estudo da Termodinâmica que está mais relacionada com o equilíbrio mecânico, **térmico** e, até mesmo, químico de um sistema analisado, para o campo de estudo da **Transferência de Calor**, os fatores **tempo** e **como** ela está relacionada ao sistema analisado se tornam primordiais.

Nesse sentido, a **Termodinâmica** está mais vinculada ao estudo dos estados **macro** de equilíbrio sobre a **matéria** e sua relação com o sistema a ser analisado.

Para seu campo de estudo são suficientes os princípios da Primeira Lei (energia não é criada e nem eliminada, mas somente alterada) e da Segunda Lei (a direção de transferência líquida de energia é do(a) material/região de alta temperatura para o(a) material/região de baixa temperatura, sempre).

Você percebe, Coruja, que não há preocupação com as **particularidades do processo** em questão, pois interessa o **estado de equilíbrio** atual e estado prospectado a ser atingido.

Dessa forma, para a **Transferência de Calor** é **importante** entender essas **particularidades** do processo, indo desde as **características físico-químicas** e a **estrutura** dos **materiais** envolvidos até as particularidades do **ambiente** no qual o processo ocorre. Por isso, Estrategista, grave:

Transferência de Calor	Termodinâmica
• Considera aspectos físicos e químicos dos materiais, bem como sua estrutura; • Particularidades inerentes ao processo; • Considera o tempo de cada processo;	• Vinculada ao estudo macro do sistema; • Preocupação com o equilíbrio do sistema; • Não considera o tempo para cada processo e nem a estrutura da matéria;

Claro, Estrategista, esse esquema é uma visão geral sem considerar os detalhes específicos de cada área do conhecimento. É um esquema para que você guarde de maneira generalizada a principal diferença de **abordagem** de cada disciplina para sua prova. ;).

Coruja, no modelo termodinâmico, há consideração para a Lei da Conservação de Energia, na qual, pelo viés da termodinâmica, a quantidade de calor trocado e transferido nesse processo será igual a mudança energética quantificada pelo trabalho realizado.



Sob o ponto de vista do estudo da **Transferência de Calor** (doravante denominada para nossa aula de "Transcal"), o **fluxo de calor**, considerando o **tempo** para transferi-lo, se tornam essenciais para o estudo. Assim, a análise de **como** essa transferência de calor, considerando o **tempo** necessário, será objeto de nosso estudo dentro da nossa disciplina.

Esse tipo de análise **mais detalhada** da Transcal no que tange ao fluxo de calor a fim de estimar o custo e o correto dimensionamento de equipamentos para determinado serviço é o principal desafio da engenharia nessa área do conhecimento.

Assim, surge a importância do nosso estudo em atingir o dimensionamento correto de **refrigeradores, aquecedores e trocadores de calor** (por exemplo) a fim de tornar o projeto viável e, para isso, a análise minuciosa da disciplina considera aspectos inerentes ao **ambiente** e aos **materiais** estudados.

Depois dessa breve introdução, vamos entrar em um tópico "quente" (que "piadela" horrível, né? Nossa... rs) para nossa prova: os **mecanismos de transferência de calor**.

Avante, Estrategista? Avante!

MECANISMOS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR

Nesse tópico, Coruja, estudaremos as três principais formas (**mecanismos**) que embasam os processos de transferência de calor. São eles: **condução, convecção e radiação**. Quero que, a partir de agora, você tenha atenção máxima, pois os exercícios sobre cada um desses mecanismos costumam abordar aspectos qualitativos (teóricos) além dos quantitativos (aplicação de fórmulas), ok?



Portanto, Estrategista, memorize: os **três principais mecanismos** de transferência de calor são: **condução, convecção e radiação!**

Considerando esses mecanismos, Coruja, de maneira mais específica, a **condução** e a **radiação** são de fato processos **genuinamente** de **transcal**, já que em ambos há dependência direta da **diferença de temperatura** para sua existência.

Já a **convecção** também vai depender do **transporte de massa** de natureza mecânica. Todavia, para nosso estudo, a **convecção** também é considerada já que também há transmissão de energia de regiões com



maiores temperaturas para as menores considerando o fator **tempo**, caracterizando a **transferência de calor**. Tranquiliade, Estrategista! Dificilmente sua prova entrará nesses detalhes, mas se o fizer, você já sabe!

ESCLARECENDO!



Acredito que você já saiba, mas é sempre bom frisar, não é? **Calor** é uma forma de **energia**. Dessa forma, dizer **transferência de calor** é sinônimo **de transferência de energia**, viu? :)

Além desses aspectos, Coruja, uma dúvida que pode surgir é se esses três mecanismos ocorrem em conjunto ou em separado. Na realidade, em casos **reais**, eles acontecem **simultaneamente**, envolvendo uma análise mais aprofundada de cada mecanismo.

Para a nossa prova, os exercícios que envolvem de dois a três processos costumam ser simples (até porque não se tem muito tempo para resoluções mais pesadas). Dessa forma, aquelas equações diferenciais ordinárias de segunda ordem não serão cobradas (Ufa!). As questões não costumam ir além das equações mais básicas. "Bora" estudar cada um desses mecanismos? "Simbora"!

CONDUÇÃO

Estrategista, esse é o mecanismo de transcal que ocorre no **meio** do **fluido** (**sólido**, por exemplo), no qual o **fluxo** de calor irá acontecer, conforme vimos, da **região** de **maior temperatura** para a região de **menor temperatura**.

Quando estudamos a **condução**, Coruja, o que você precisa entender e ter em mente é que a transferência vai ocorrer **através** do **meio**, seja qual for o **fluido**. Nesse sentido, ela é a transferência de calor (energia) a **nível molecular e atômico**, entre as partículas do material que possui **maior temperatura** para as de **menor temperatura**.

ESCLARECENDO!



Lembre-se sempre: **fluido** pode ser **sólido**, **líquido** e **gasoso**! ;)



Na **condução** em materiais sólidos como um barra de aço, as vibrações dos átomos nos retículos serão o meio pelo qual a transferência de energia (calor) será estabelecida, ocorrendo as ondas pelo movimento atômico, átomo a átomo, da região de **maior temperatura** para a de **menor temperatura**. Pegou o "bizu"?

"Tá, Professor, entendi. Mas, e como eu faço o cálculo esse fluxo de calor?". Pois bem, Estrategista, para isso, temos a nossa primeira fórmula da nossa aula usada para calcular a **taxa** pela qual o calor é transferido por **condução** (também denominada **Lei de Fourier** ou **Equação de Fourier**):

$$q_k = -k \cdot A \cdot \frac{dT}{dx}$$

Na qual, temos:

- **q_k** : taxa de calor transferido, em **J/s ou W**;
- **k** : condutividade térmica, em **W/m.ºC ou W/m.K**;
- **A** : área por meio do qual o calor é transferido, em **m²**;
- **dT** : variação de temperatura, em **ºC** ou em **K**;
- **dx** : variação da distância, em **m**;

Sobre nossa fórmula, algumas explicações se fazem necessárias. A primeira é sobre a **temperatura** e a segunda sobre a **condutividade térmica**. A temperatura, Estrategista, pode ser fornecida pelo exercício em **ºC (escala Celsius)** ou em **K (escala Kelvin)**. Todavia, se a questão não mencionar qual unidade, por convenção, se utiliza a escala **Kelvin (K)**, por ser a escala **absoluta**.

Coruja, a escala **Kelvin** é importante ser utilizada, pois é somente nela que temos o **zero absoluto** com valor **0**. Lembre-se do Ensino Médio que as três escalas vão de: Celsius (0 a 100ºC); Fahrenheit (32 a 212ºF) e a **Kelvin (0 a 273 K)** para os pontos de mudança de fase da água!

Nesse sentido, 273 é a temperatura em kelvin para a fusão do gelo e 373 a temperatura em Kelvin para ebulição da água. Assim, somente na **Kelvin** é que se atinge o **0 absoluto**!

Dessa forma, Estrategista, sempre que a questão perguntar se um **corpo em uma temperatura de valor 0 não emite calor ou não transfere energia** (seja por qualquer dos **mecanismos** que falei), fique atento para a **escala**!

Se for em Celsius, por exemplo, a alternativa está **errada**! Somente na **escala Kelvin** que o **0** é de fato o estado de **agitação das moléculas do corpo** que **é nulo**!





Assim, grave: **zero absoluto** somente na **escala Kelvin**, representada pela letra "K" sem "grau ao lado", como para Celsius e Fahrenheit (°C e °F, por exemplo). ;)

Normalmente, pode vir a aparecer uma questão que exija alguma **conversão** de uma escala para outra, Estrategista! Tranquilidade total. Abaixo, fiz a tabela a fim de ilustrar as fórmulas para a conversão, sem precisar da boa e "véia" interpolação (é a mesma coisa) que aprendemos no ensino médio (o que faz com que você ganhe tempo na hora da prova):

Conversão	Fórmula
De Celsius para Kelvin e vice-versa	$T_{Celsius} = T_{Kelvin} - 273$
De Celsius para Fahrenheit	$T_{Celsius} = \frac{(T_{Fahrenheit} - 32)}{1,8}$

Outro ponto que merece destaque na Lei de Fourier é sobre a **condutividade térmica** do material a ser analisado. Tranquilidade, Estrategista. Dê uma olhada novamente na fórmula e você perceberá que ela é **diretamente proporcional** a **taxa de transferência de calor**.

Dessa forma, para cada valor (**maior** ou **menor**) na **condutividade térmica** do material objeto de estudo da questão, teremos **maior** ou **menor transferência de calor**.

Nesse sentido, de maneira mais específica e, para fins de prova, memorize: a **condutividade térmica** é uma propriedade do material que relaciona o **quanto de energia (calor) flui por ele por unidade de espaço e tempo**, com um gradiente de temperatura associado. (Todavia, sem "susto", pois a variação de temperatura é pequena para os problemas de engenharia).

Na tabela abaixo, eu adaptei alguns valores¹ para que você tenha uma "noção" geral de materiais que são **mais condutores** e **menos condutores de calor**. Para a obtenção de cada um desses valores, está associada a temperatura de 300 K.

"Dê um look"!

¹ Adaptado de KREITH, F.; MANGLIK, R.M.; BOHN, M.S. Princípios de Transferência de Calor. Editora: Cengage Learning, 7ª edição, São Paulo. 2016.



Material (em diferentes estados - sólido, líquido ou gasoso)	Condutividade Térmica (k) a 300 K $\left(\frac{J}{s.m.K}\right)$ ou $\left(\frac{W}{m.K}\right)$
Cobre	399
Alumínio	237
Aço-carbono com 1% de Carbono	43
Vidro	0,81
Plásticos	0,2 a 0,3
Água	0,6
Etilenoglicol	0,26
Óleo de motor	0,15
Freon em estado líquido	0,07
Hidrogênio	0,18
Ar	0,026
Madeira	0,17

Estrategista, pelo o amor de Deus, hein? Não vai ficar decorando esses valores! A questão irá lhe fornecer quando for necessário! Coloquei para que você dê uma "olhada" e perceba alguns valores interessantes, como, por exemplo, o do **ar**. Veja que ele é o **menos condutivo!** Dessa forma, podemos entender que o **ar** é um **material** excelente para servir de **isolante térmico!** Inclusive, muito utilizado na engenharia em motores de avião e em casas de lugares mais frios do planeta!

CURIOSIDADE



Estrategista, você entende, agora, o porquê da **lã** ser um material utilizado em casacos para o frio rigoroso? Em sua **fibra** há a formação de minúsculas **bolhas de ar!** Como vimos, o ar possui **baixíssima condutividade térmica**. Logo, o **calor** produzido no seu corpo para manter sua temperatura corporal ótima é pouco perdido para o meio-ambiente (quando em lugares frios), ficando seu corpo **mais isolado** do ambiente! Ah, e em lugares quentes, a lógica é mesma! Por isso que os beduínos no deserto usam lã a fim de se protegerem e se isolarem de um ambiente extremamente quente! Pegou o "bizu"?

Ah, você deve ter se perguntado sobre o sinal negativo na fórmula, né, Coruja? Lembra dela? Vou repetir aqui para você não ficar subindo e descendo aí o "pdf" que, convenhamos, é um "porre", né? Veja:

$$q_k = -k \cdot A \cdot \frac{dT}{dx}$$



Então, a função do sinal, Estrategista, é mostrar o sentido do fluxo do calor na transferência. Como sabemos, o calor (energia) vai passar da região de **maior** temperatura para a de **menor** temperatura. Assim, como a variação de temperatura será a final (menor) menos a inicial (maior), o sinal ficará **negativo**.

Coruja, para regimes estacionários, que o estado no qual o fluxo de calor e a temperatura **não variam** com o tempo (não são dependentes dele, eu quero dizer), a **área será considerada uniforme**, não havendo a necessidade de utilizarmos grandes cálculos de integração. Dessa forma, a aplicação da forma acima é direta.



Estrategista, regime **estacionário** é sinônimo, para nós da engenharia, de regime **permanente!** Nada de "tremar na base" caso o examinador use um ou outro, hein? rs.

Vejamos uma questão de prova para ilustrar de que maneira comumente esse assunto pode ser abordado!



(Cesgranrio/ Mecânica)

Uma parede de 40 cm de espessura e área de 2 m² possui uma condutividade térmica de 80 W/m.K. Em regime permanente, as temperaturas superficiais são 120 °C e 60 °C. A taxa de transferência de calor e o gradiente de temperatura na direção do fluxo de calor, são, respectivamente:

- a) 4,8 kW e -30 °C/m.
- b) 24 kW e 150 °C/m.
- c) 24 kW e -150 °C/m.
- d) 12 kW e 75 °C/m.
- e) 12 kW e -75 °C/m.

Comentário:



Veja, Estrategista, uma questão para a prova de Engenheiro Mecânico da Transpetro, subsidiária da Petrobrás, pela fundação Cesgranrio, bem tranquila!

Perceba que teremos a aplicação direta da nossa fórmula. Veja que o enunciado já deixou claro que o **regime é permanente!** Por isso, Estrategista, a utilização na nossa fórmula é direta! Perceba também que ele forneceu **área ($A = 2\text{m}^2$)**, bem como a dimensão **$x = 40\text{ cm}$** (espessura da parede) pela qual o **fluxo de calor** irá percorrer. Veja que ele nos forneceu em centímetros. Precisamos passar para **metro** dividindo por 100.

Além disso, temos a **condutividade térmica** desse material fornecida, sendo **$k = \frac{W}{m.K}$** , todavia, perceba que ela está em **Kelvin** e o exercício nos fornece as **temperaturas** na escala **Celsius** (**$T_{\text{inicial}} = 120^\circ\text{C}$** e **$T_{\text{final}} = 60^\circ\text{C}$**). Sem problemas, Estrategista! Conforme estudamos, basta fazer a conversão.

Dessa forma, nosso primeiro passo é converter as **temperaturas**. Assim, como sabemos no Sistema Internacional (S.I.):

$$T_{\text{Kelvin}} = T_{\text{Celsius}} + 273$$

Aplicando a fórmula acima, temos:

$$T_{\text{final}} = 60 + 273 = 333\text{ K}$$

e

$$T_{\text{inicial}} = 120 + 273 = 393\text{ K}$$

Estrategista, pode correr para o abraço! Perceba que ele pergunta qual é o **gradiente** de temperatura. Oras, ele quer saber qual o valor do nosso:

$$\frac{dT}{dx} = \left(\frac{T_{\text{final}} - T_{\text{inicial}}}{\text{espessura}} \right) = \left(\frac{333 - 393}{0,4} \right) = -150 \frac{\text{K}}{\text{m}}$$

Perceba, Estrategista, que as alternativas estão em $^\circ\text{C}/\text{m}$. Sem problemas, pois como a conversão é para as duas temperaturas, não altera o valor. Um ponto interessante que você precisa notar é que fazendo a variação de temperatura "final - inicial" teremos a resposta "negativa".

Não esqueça de que no cálculo da **taxa de transferência**, a fórmula possui o sinal negativo e, por isso, você precisa retirá-lo, se não o resultado final será positivo e você poderá errar o exercício. O sinal negativo é somente uma convenção para indicar que o **gradiente** de temperatura é baseado no intervalo da maior para a de menor, como fizemos acima. ;)

Assim, temos para a taxa, nossa Lei de Fourier:

$$q_k = -k \cdot A \cdot \frac{dT}{dx} = -80.2.(150) = 24000\text{ W ou }24\text{ kW.}$$

Gabarito: "c".

"Tá, professor, entendi. Mas, e quando o exercício não for de regime permanente (ou estacionário)?" Excelene pergunta, Coruja! Quando ele não for regime permanente ou estacionário, teremos que a



temperatura irá variar conforme o **tempo** e, dessa forma, em função dele. Nesse tipo de questão, com certeza o examinador irá lhe fornecer os dados, sem "sustos". rs.

Normalmente, as questões de prova não irão adentrar os cálculos pesados de integral e derivada, muito por uma questão de tempo, abordando em larga escala o conceito teórico com cálculos rápidos e simples, pois na prova você não poderá usar nem uma calculadora de relógio de R\$ 1,99, diferentemente da rotina acadêmica, seja na graduação, seja na pós-graduação (*Strictu* ou *Lato Sensu*).



Estrategista, outro nome que pode aparecer na sua prova a fim de classificar o mecanismo de **condução** é o nome **difusão** ou **difusão térmica**. E essa denominação deriva, justamente, do mecanismo como o calor é transferido de molécula a molécula do material, conforme seu grau de agitação. Assim, a energia cinética vai se **difundindo** e surgindo a **transferência de calor**, sacou? ;)

ANALOGIA COM SISTEMAS ELÉTRICOS - CONDUÇÃO

Um caso comumente explorado na literatura, Estrategista, a fim de explicar a relação de **transferência de calor por condução** (e veremos, depois, também, para a **convecção**) é a **analogia** com sistemas elétricos. Lá na Elétrica (e não cabe aqui aprofundar muito), sabemos que a relação de **potência**, **resistência**, **corrente** e **voltagem** tem o fator **resistência** como uma "barreira" ao **fluxo de elétrons** (não é à toa que o nome da grandeza é **resistência**, rs).

Nesse sentido, em casos simples, como de **paredes planas** nas quais se estuda a transferência de calor, a parede funciona como uma resistência lá da Elétrica, **dificultando** o processo de transferência de calor (no caso, por meio da condução).

Assim, para essa situação e depois de estabelecidos os limites de integração (não cabe adentrarmos aos cálculos de integral e nem precisaremos - amém, não é? rs) de temperatura em função da área e do comprimento da parede que são **uniformes**, chegamos a fórmula de Fourier para esse caso:

$$q_k = k \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{L} = \frac{\Delta T}{\frac{L}{A \cdot k}}$$

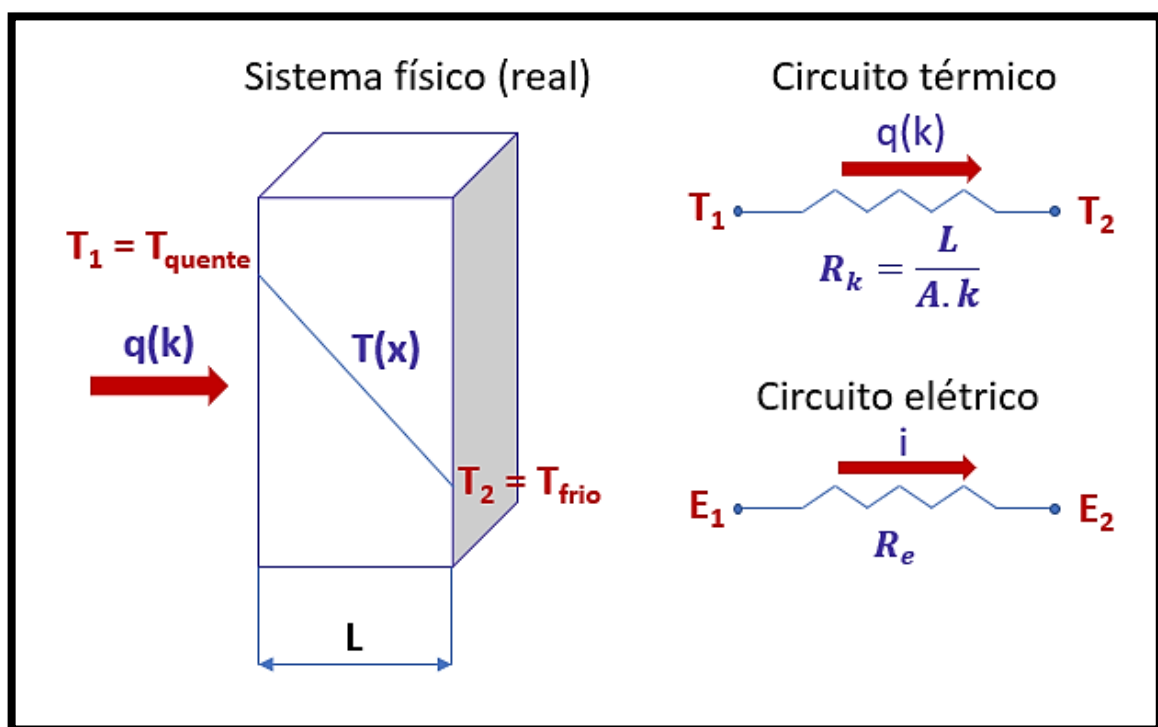


Perceba, Estrategista, que o **comprimento (L)** é a **extensão** da parede nesse caso e que podemos escrever a relação das duas maneiras que escrevi acima. Nesse sentido, surge a **resistência térmica (R_k)** para essa relação (e pela sua característica de abordagem simples, pode cair em sua prova):

$$R_k = \frac{L}{A \cdot k}$$

Veja que tem o total sentido, não é, Coruja? Analisando a fórmula da **resistência térmica**, conseguimos compreender que ela está relacionada ao comprimento (**L**) da parede (quanto maior, mais difícil para o **calor** "passar"), a área (**A**) da parede (quanto maior, maior será a superfície de contato para o calor "passar", diminuindo a resistência) e o **coeficiente de condutividade térmica - k** - (que já vimos, quanto maior, mais fácil ocorre a **condução** de calor pelo material e, como percebemos na fórmula, diminui o valor da resistência).

Pegou o "bizu", Estrategista? Veja a figura a seguir para entender esse "bizu" da analogia com o sistema elétrico:



2

² Adaptado de KREITH, F.; MANGLIK, R.M.; BOHN, M.S. Princípios de Transferência de Calor. Editora: Cengage Learning, 7ª edição, São Paulo. 2016.



CONDUÇÃO EM FORMATOS CILÍNDRICOS E ESFÉRICOS

Estrategista, em regime permanente (sem geração de calor) a doutrina nos traz fórmulas específicas e diretas que podem ser usadas para formatos **cilíndricos** e **esféricos**. O formato cilíndrico é mais comum de ser cobrado em exercícios de **tubos** com raios diferentes e espessuras de paredes especificadas.

Assim, temos para a formato cilíndrico, teremos a **resistência térmica** oferecida (com a analogia que mencionei) da seguinte forma para a condução da parede:

$$R_{cilindro} = \frac{\ln\left(\frac{R_{externo}}{R_{interno}}\right)}{2 \cdot \pi \cdot L \cdot k};$$

Oras essa é a "barreira" a resistência para o formato de um cilindro (um tubo, por exemplo) no qual possui uma temperatura interna e uma temperatura externa, troca calor com esse ambiente.

Para a superfície cilíndrica considerando a convecção, temos considerando o ambiente interno e externo ao cilindro:

$$R_{cilindro} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot r_{interno} \cdot L \cdot h_i} \text{ e } R_{cilindro} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot r_{externo} \cdot L \cdot h_e};$$

Em formatos **esféricos**, temos a seguinte relação, por conta da geometria esférica da área de sua superfície:

$$R_{esfera} = \frac{r_{externo} - r_{interno}}{4 \cdot \pi \cdot r_{externo} \cdot r_{interno} \cdot k};$$

Para a convecção em formatos esféricos em multicamadas, considerando o ambiente interno e externo, temos:

$$R_{cilindro} = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot r_{interno}^2 \cdot h_i} \text{ e } R_{cilindro} = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot r_{externo}^2 \cdot h_e};$$

Obviamente, Coruja, em uma situação que envolva os dois mecanismos, temos que somente adicionar cada resistência como vimos para o caso da parede. Em uma situação simples, num tubo com parede de espessura, é comum cobrarem a seguinte expressão para a taxa de transferência de calor pela sua parede:

$$q = \frac{2 \cdot \pi \cdot l \cdot k \cdot (T_i - T_e)}{\ln\left(\frac{r_e}{r_i}\right)};$$



PROPRIEDADES TERMOFÍSICAS IMPORTANTES - CONDUÇÃO

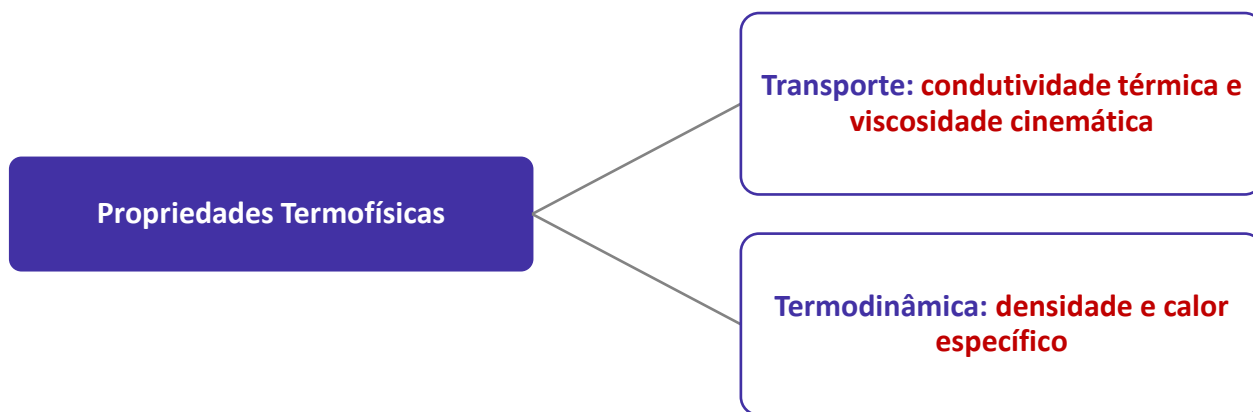
Estrategista, além da propriedade específica do material relacionada a **condutividade térmica** que já vimos (o nosso **k** da fórmula de *Fourier*), temos algumas propriedades **termofísicas** que são importantes no estudo da transferência de calor. São elas: as propriedades e características de **transporte** e as propriedades de característica **termodinâmica**.

Dentro dessas **duas categorias**, podemos englobar a **condutividade térmica (k)**, relacionada ao quanto de **energia** flui pelo material (como já vimos) e a **viscosidade cinemática (v)** (relacionada a transferência de momento, movimento do fluido) na primeira categoria: de **transporte**.

Nessa linha de raciocínio, as propriedades como **densidade (d)** da matéria e **calor específico (c)** são relacionadas a categoria **termodinâmica**, já que dizem respeito ao estudo do estado de **equilíbrio** do material.

Além disso, é pertinente você saber, Coruja, que as propriedades de **densidade** e **calor específico** do material estão relacionadas com a **capacidade de armazenamento de energia interna** desse material. Dessa forma, o valor dessa capacidade é dado pelo **produto** da **densidade** e do **calor específico** dele.

Perceba, Estrategista, que quanto mais **denso** um material (elevada **massa** por **volume**), maiores quantidades de energia ele vai conseguir armazenar! Consequentemente, menos **energia** ele vai **transferir**.



Essa relação será importante para entendermos outra propriedade do material denominada **difusividade térmica (α)**. Tranquilidade! Ela vai relacionar a **condutividade térmica** do material e a **capacidade calorífica volumétrica**. Ou seja, a **difusividade térmica** é justamente a **razão** entre a quantidade de calor que é conduzida pelo material e a quantidade de calor que é armazenada. Assim, temos:

$$\alpha = \frac{k}{d \cdot c}$$



Em outras palavras, Coruja, é a relação entre o "quanto de energia o material consegue **transferir**", pelo "quanto de energia que ele consegue **armazenar**".

Dessa forma, materiais com **alto valor** de difusividade térmica tendem a atingir o **equilíbrio térmico** com o meio mais **rapidamente**. É o caso de uma panela de metal que rapidamente atinge temperaturas elevadas quando aquecida no fogão.

Já materiais com **baixo valor** de difusividade térmica demoram para atingir o equilíbrio térmico com o meio, devido à **baixa condutividade térmica**. É o exemplo da água de uma piscina que mesmo no verão, com dia ensolarado, possui, pela manhã, uma temperatura relativamente baixa (diferentemente do final do dia), sacou? rs.



Portanto, Coruja, decore: a **difusividade térmica** de um material é a **razão** entre sua **condutividade térmica** (o quanto ele deixa "passar" de energia/calor) pela sua **capacidade calorífica volumétrica** (o quanto ele "armazena" de energia/calor internamente). "Pegou o bizu"?

Estrategista, antes de irmos para o próximo mecanismo (ou processo, como algumas bancas chamam) convém vermos a tal da **dilatação térmica**! Coruja, sem problema algum nisso! A sua prova costuma cobrar a **dilatação térmica linear** que nada mais é que o **quanto um material** se dilata (aumenta de tamanho) conforme sua temperatura também aumenta. Assim, temos a seguinte expressão para seu cálculo:

$$\Delta l = \alpha \times l_0 \times \Delta T;$$

Onde:

- **Δl** : variação no comprimento da barra, em **(m)**;
- **α** : coeficiente de dilatação linear, em **(°C⁻¹ ou K⁻¹)**;
- **l_0** : comprimento inicial da barra, em **(m)**;
- **ΔT** : variação de temperatura, em **(°C) ou (K)**.

Coruja, a cobrança desse ponto é muito tranquila. O que você precisa ter em mente é que para **diferentes materiais** teremos **diferentes coeficientes de dilatação linear** (óbvio). Com isso, teremos materiais que dilatam mais e outros menos, sendo fornecido para você pela questão o material e a relação que ela deseja saber!



"Bora" para mais um tipo de mecanismo? Vamos falar da **convecção**, agora!

CONVECÇÃO

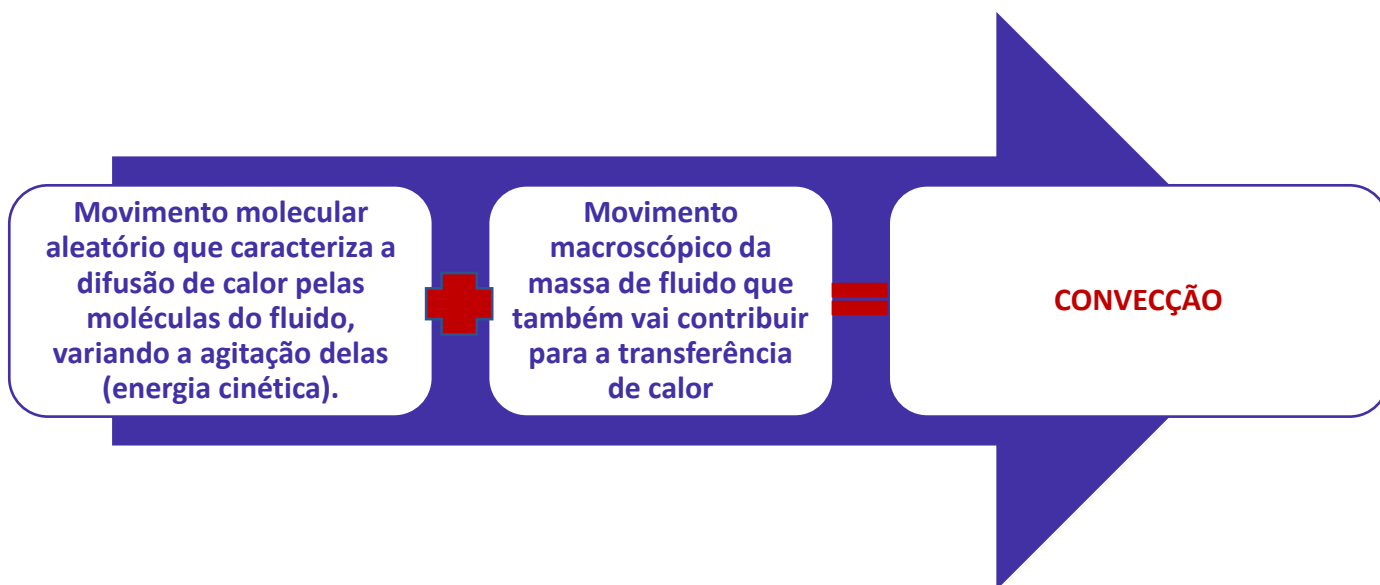
Na transferência de calor por **convecção**, Estrategista, temos como pilar principal de sua lógica a Lei de Resfriamento de Newton na qual explica que a **taxa de perda de calor** acaba sendo proporcional a variação de temperatura entre o **corpo** e sua **vizinhança** (ambiente onde ele se encontra).

O que precisa ficar claro, antes de mais nada, é que nesse mecanismo de **transferência de calor** teremos tanto a transferência outrora estudada na condução (transferência pelo **movimento molecular - difusão**) quanto o **movimento macroscópico** do fluido em sua vizinhança.

Assim, esse movimento macro sob presença de um gradiente de temperatura (variação) irá contribuir para a **transferência de calor**.

Nesse sentido, para nosso estudo da engenharia, nos interessa entender o **mecanismo** da **convecção** em relação a essa massa de fluido que se desloca e **troca (transfere) calor** para outra **superfície** que ela entra em contato.

Dessa forma, antes de mais nada, eu quero que você entenda que teremos **dois mecanismos, duas formas** que vão atuar no processo de **transferência de calor (energia)**, simultaneamente, dentro do **mecanismo** da **convecção**:



Esse movimento **macroscópico**, Estrategista, pode se dar por uma **diferença de pressão** no ambiente e/ou por ação de uma **força externa** que impulsiona o movimento, como a ação do vento.

Assim, conforme uma massa de ar, por exemplo, entra em contato com uma superfície com temperatura diferente, teremos o processo de transferência de calor por convecção sendo executado.



Um termo não muito utilizado, mas que pode aparecer na sua prova é o termo **advecção**. Tranquilidade, Estrategista, pois "advecção" é o nome dado ao **movimento macroscópico** que eu expliquei! Já a **convecção**, no âmbito da **transferência de calor**, é referente aos **dois movimentos (microscópico e macroscópico)**. ;)

Da mesma forma que fizemos com o mecanismo da condução, temos também a fórmula da **convecção** que relaciona as temperaturas do fluido e da superfície com a área de troca de calor entre elas, com a proporcionalidade proveniente pelo **coeficiente de convecção** (também chamado de **coeficiente de película**):

$$q_{cv} = h \cdot A \cdot \Delta T$$

Na qual, temos:

- **q_{cv}** : taxa de transferência de calor por convecção, em **W**;
- **h** : coeficiente de transferência de calor por convecção, em **W/m².K**;
- **A** : área de transferência de calor, em **m²**;
- **ΔT** : variação de temperatura da superfície (T_s) e do fluido (T_∞), em **K**.

Estrategista, uma situação muito comum para ilustrarmos o fenômeno do mecanismo da **convecção** é compreendermos o que ocorre com a **velocidade de deslocamento** do fluido e a sua **temperatura**. Nesse sentido, na próxima página temos uma figura que ilustra quando a massa do fluido que se movimenta encontra com a superfície, temos nesse ponto a velocidade igual a **zero**, denominado **ponto de estagnação**. Com a variação de velocidade, forma-se uma **região** denominada de **camada limite hidrodinâmica** até valores finitos de velocidade.

Coruja, não que você precise "tatuá-la na mente", já que não é comum cobrarem (ainda), mas tem "cheiro de prova" perguntar: "qual o nome que se dá para a região na qual a velocidade começa em **zero** do **fluido em contato com superfície** na transferência por **convecção**?", sabe? Então, tente memorizar: a **região** desde o ponto de estagnação (ponto de **velocidade zero** do fluido com a superfície na **convecção**) que varia em relação a essa superfície é chamada de **camada limite hidrodinâmica**.





A **camada limite hidrodinâmica** também pode ser chamada de **fluidodinâmica** ou camada **de velocidade**! ;)

Outra região que se faz necessário entendermos e possui a "mesma" lógica que a camada limite hidrodinâmica é a **camada limite térmica**. Ela irá surgir não pela variação de velocidade, mas em **relação a variação de temperatura na região do fluido**, desde a temperatura da superfície a valores finitos de análise pela massa do fluido. Estrategista, sem preocupação sobre isso! Muito difícil a prova ir além desses conceitos!

Primeiramente, Coruja, vamos entender o que essa figura quer dizer, certo? Nela, temos o fluido se movimentado ao longo de uma superfície que contém uma temperatura (T_{sup}) **diferente** da temperatura do fluido (T_{∞}). Ah, não se preocupe com esse sinal de "infinito"! É só uma convenção para dizer que a temperatura varia para região afastada da superfície.

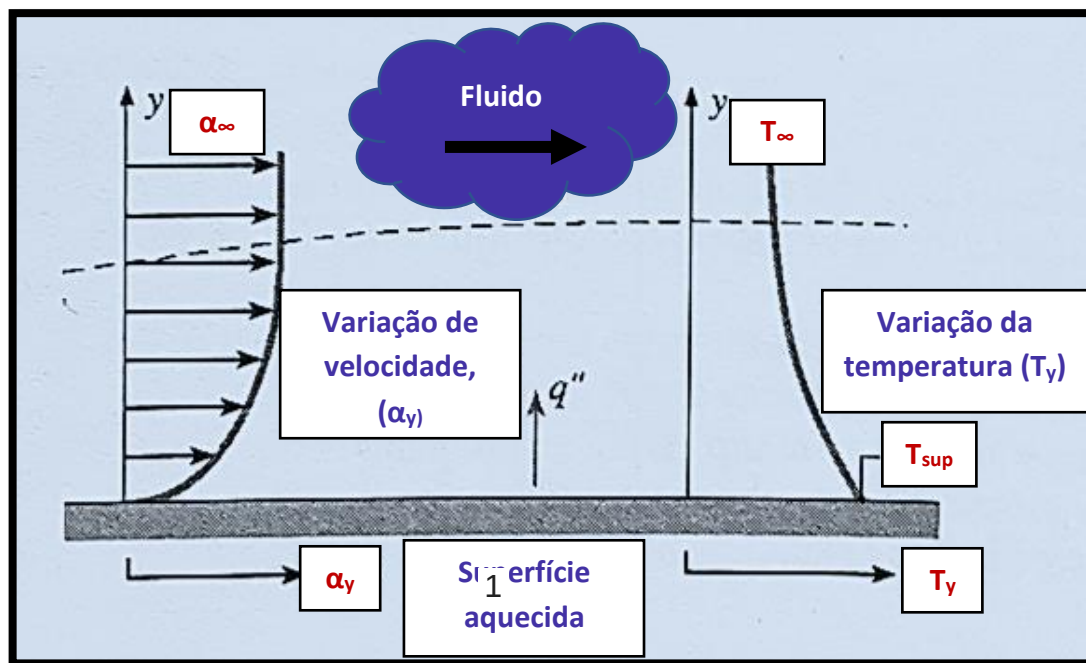
Pois bem, conforme o fluido se movimenta, temos, sua **velocidade** (α_0) indo de **zero** (quando em contato com a superfície em $y = 0$) a um valor **finito** (α_{∞}). Dessa forma, perceba pela figura, Estrategista, que a temperatura do fluido também vai variar desde a temperatura da superfície (T_{sup}) até uma temperatura (T_{∞}), conforme a região mais afastada do fluido da superfície.

O que precisa ficar claro, Coruja, é que em um dado momento, quando temos o **contato** do **fluido** com a **superfície** no ponto $y = 0$, temos que a **taxa** (q_c) de transferência de calor ocorre por **condução**!

Além disso, o valor da velocidade apesar de ser utilizado o símbolo de "infinito" pela literatura dominante, saiba que ela é **finita**, na convecção natural! É bom avisar você, pois em uma prova, como de costume, o examinador pode colocar um figura e utilizar as variáveis com símbolos que são usados e acabar gerando confusão.

Por isso, o que é importante você entender é que elas variam conforme eu coloquei na figura, por isso usei os símbolos em função da distância y , em ambas as **curvas**: de **temperatura** e de **velocidade**.





3

Coruja, conforme mencionei, temos que ter em mente a relação da variação de temperatura que ocorre entre a **superfície** e o **fluido**. Nesse sentido, com a **diferença** de temperatura, surge uma região denominada **camada limite térmica**! Também saiba que ela pode surgir em sua prova e é uma boa tê-la em mente! ;).

Ainda no escopo de estudo da transferência de calor por convecção, Estrategista, temos que entender que ela pode ocorrer de **duas maneiras**. Basicamente, temos a transferência por **convecção natural** e a **convecção forçada** (tão presente em nossas vidas e você verá o porquê).

- **Convecção natural:** também chamada de **convecção livre**, ocorre quando há a diferença de **densidade** nas regiões do fluido e, por conta desse fenômeno, há o movimento dele pela **superfície**. É o mesmo princípio, Estrategista, das **inversões térmicas** que ocorrem naturalmente nas grandes cidades e centros urbanos. Com o aquecimento do ar (fluido) próximo a superfície, essa massa sobe e se resfria nas altitudes maiores, descendo normalmente, por ser mais denso que a massa de ar quente (o que não ocorre devido as poluentes atmosféricos, mas isso já é estudo da disciplina de Geografia, não é, Coruja?).
- **Convecção forçada:** justamente ocorre quando se tem a ação de uma **força externa** que atua intensificando o processo de **convecção**. Aqui, cabe o exemplo de um **ventilador** ou de uma **bomba** a depender do fluido. Por exemplo, temos em nossos computadores, entre outras peças, o **microprocessador** que atinge altas temperaturas a depender do arquivo que "abrimos" para

³ Adaptado de INCROPERA, F.P.; DEWITT, D. O. Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa. Editora: LTC. Rio de Janeiro, 4ª edição, 1998.



utilizar. Em jogos que utilizam gráficos super complexos, temos um aumento considerável de temperatura do processador e, com isso, surge a necessidade de ter uma ação externa, uma força que intensifique a **troca de calor** com o meio (no caso, o ar interno do gabinete do computador). Esse papel é exercido pelo **cooler** do microprocessador, Estrategista. Sendo também utilizado, em alguns casos, radiadores com fluxo contínuo de **água**, além do cooler de refrigeração, sendo ainda mais eficiente essa troca a fim de abaixar a temperatura do microprocessador. "Pegou o bizu"?

- **Convecção na condensação:** sabemos que a convecção também é proporcional a diferença de **temperatura** entre a massa de fluido e a superfície de contato (com outra região de outro fluido, por exemplo). Assim, na **condensação** que é caracterizada por uma mudança de fase do fluido, temos a transferência de calor pelo mecanismo da **convecção** (escoamento do condensado - fluido - para o fundo de um recipiente, por exemplo, que seria o movimento macroscópico dele). Por conta do calor latente de vaporização elevado, Coruja, são geradas grandes quantidade de calor transferido. Esse fator está associado a **temperatura da superfície** (de um condensador, por exemplo) que é **menor** que a **temperatura de saturação** do fluido (temperatura que determina o limite entre os estados líquido e gasoso do fluido, em determinada pressão). Assim, como a diferença de temperatura normalmente é alta, implica em um coeficiente de convecção maior que na convecção forçada e natural;

Seguindo essa linha de raciocínio, Coruja, eu compilei, na tabela⁴ abaixo, alguns exemplos (nada de decorar, hein? Novamente, a questão irá lhe fornecer!) de alguns tipos de **fluido** em um mecanismo de **convecção natural** e **forçada**. Perceba a mudança drástica nos valores do **coeficiente de transferência de calor**:

Fluido	Coeficiente de Transferência de Calor por Convecção (W/m ² .K)
Ar (convecção natural)	De 6 a 30
Ar (convecção forçada)	De 30 a 300
Água (convecção forçada)	De 300 a 18000

ANALOGIA COM SISTEMAS ELÉTRICOS - CONVECÇÃO

Assim como no mecanismo de **condução**, Estrategista, na **convecção** trabalharemos com o **coeficiente de transferência de calor (h) médio**, já que os coeficientes **locais** ponto a ponto são mais complexos de calcular e foge do foco das bancas.

⁴ Adaptado de KREITH, F.; MANGLIK, R.M.; BOHN, M.S. Princípios de Transferência de Calor. Editora: Cengage Learning, 7ª edição, São Paulo. 2016.



Além disso, como mostramos no mecanismo da **condução**, é comumente demonstrado na literatura a **analogia** entre os fenômenos da **convecção** com a **resistência elétrica**, também, para fins didáticos. Dessa forma, como na **condução**, temos o surgimento da **condutância térmica (K_c) para valores médios do coeficiente de transferência de calor (h)**:

$$K_c = h \cdot A$$

Perceba que a **condutância térmica** nada mais é que a relação entre o **coeficiente de transferência de calor** e a **área** da superfície de troca.

Nesse sentido, também teremos a **resistência térmica (R_c)**, relacionada a condutância e expressada pela seguinte relação:

$$R_c = \frac{1}{h \cdot A}$$

Estrategista, vamos adentrar, agora, no estudo do terceiro mecanismo importante para sua prova: a **radiação**!

ADIMENSIONAIS DA CONVECÇÃO

No estudo do mecanismo de transferência de calor por **convecção**, tivemos vários cientistas que desenvolveram relações adimensionais importantes. Essa prática de "**adimensionalizar**" equações, combinando variáveis que geram os agrupamentos de números adimensionais, tem como foco a **redução no número total de variáveis**, como aponta a literatura específica⁵. Estrategista, os principais adimensionais que eu quero que você saiba são:

- **Número de Nusselt**: também chamado de **coeficiente adimensional de transferência de calor por convecção**, foi desenvolvido por Wilhelm Nusselt e, basicamente, vai **relacionar** a **taxa de transferência** por **convecção** com a **taxa de transferência por condução** (lembre-se que a convecção, temos os dois mecanismos). Assim, pela razão, quanto **maior** for o número, **maior** será a eficácia da **convecção**. O valor do número de Nusselt é dado por:

$$Nu = \frac{h \cdot L}{k};$$

No qual, L = espessura da camada de fluido; h = coeficiente convectivo e k = condutividade térmica

- **Número de Prandtl**: tem como objetivo descrever a espessura relativa das camadas limites hidrodinâmica e térmica. O número representa a razão, basicamente, entre a **taxa de difusão**

⁵ Çengel, Y. A.; Ghajar, A.J.; Kanöglu, M. Transferência de Calor e Massa: Uma Abordagem Prática. 4ª edição. Editora: AMGH Ltda. Porto Alegre, 2012.



molecular viscosa (quantidade de movimento) pela **taxa de difusão molecular térmica**. Sua importância está em entender essa relação para diferentes materiais, indo de 0,01 (metais líquidos) até 10^5 (para óleos). Ou seja, em metais líquidos, o calor se difunde muito mais rápido do que em óleos, em relação a quantidade de movimento (relacionada a viscosidade do fluido que, por sua vez, representa a resistência ao escoamento). O valor do número de Prandtl é dado por:

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} = \frac{\mu \cdot c_p}{k};$$

No qual, ν = viscosidade cinemática; α = difusividade térmica; μ = viscosidade dinâmica; c_p = calor específico e k = condutividade térmica;

- **Número de Reynolds:** o mais famoso e mais cobrado, representa, como você é estudado na Mecânica dos Fluidos, a razão entre as **forças de inércia** e as **forças viscosas** do fluido. Esse número vai determinar o tipo de escoamento do fluido (turbulento ou laminar). O valor do número de Reynolds é dado por:

$$Re = \frac{V \cdot L_c}{\nu} = \frac{\rho \cdot V \cdot L_c}{\mu};$$

No qual, V = é a velocidade a montante; L_c = comprimento da geometria; ρ = massa específica do fluido;

- **Número de Peclet:** representa a razão entre a **taxa de advecção** e a **taxa de difusão** de determinada grandeza em relação a um gradiente. Pode ser obtido como o produto do número de Reynolds pelo número de Prandtl:

$$Pe = Re \cdot Pr = \frac{V \cdot L_c}{\nu} \times \frac{\nu}{\alpha} = \frac{L \cdot V}{\alpha};$$

- **Número de Grashof:** no âmbito da **convecção natural**, representa a razão entre as **forças** que geram o **empuxo** da massa de fluido pelas **forças viscosas** desse fluido. O valor do número de Grashof é dado por:

$$Gr = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_s - T_\infty) \cdot L_c^3}{\nu^2};$$

No qual, g = aceleração gravitacional; β = coeficiente de expansão volumétrica; T_s = temperatura da superfície; T_∞ = temperatura do fluido suficientemente longe da superfície;



Um adimensional importante para estudos de transferência de calor, principalmente em regimes **transientes** (nos quais temos a variação da temperatura em função do tempo, também), é o **número de Biot**. Quando aparece em prova, Coruja, costuma-se cobrar sua **definição**, basicamente. Aqui eu quero que você saiba que esse **número adimensional** nada mais é que uma **relação** (uma **razão**) entre o **coeficiente de transferência convectiva de calor na superfície de um corpo** e a **condutância** desse corpo. Dessa forma, temos que o número de **Biot** expressa a **razão entre a resistência interna do corpo à condução de calor e sua resistência externa à convecção de calor**. (Isso eu quero que você memorize). Veja o nosso famigerado "bonitão":

$$Bi = \frac{h}{k} x Lc;$$

No qual, temos:

- **h**: coeficiente convectivo (W/m².K);
- **k**: condutividade térmica (W/m.K);
- **Lc**: comprimento do corpo.

3

Em termos de resistência, conforme mostrei as analogias, temos:

$$R_k = \frac{L}{A \cdot k} \text{ e } R_c = \frac{1}{A \cdot h}$$

Assim, o número de Biot pode vir a aparecer da seguinte forma:

$$Bi = \frac{Lc/k}{1/h};$$

Como aponta a literatura específica, mais precisamente Çengel, quando começa um aquecimento de um corpo sólido por um fluido mais quente que está rodeando esse corpo (a exemplo de uma carne que será assada dentro de um forno), primeiramente o calor é transferido por **convecção** para o corpo e, depois, ocorre a **condução** para dentro dele. O número de Biot vai expressar essa relação, Estrategista. Por conta disso, quanto temos um número de Biot muito pequeno, temos uma resistência à condução muito pequena, sendo um cenário de gradientes muito baixo de temperatura dentro do corpo. Assim, para algumas situações, é considerada uma **distribuição uniforme** de temperatura a qualquer instante dentro de corpo nessa situação de Biot muito pequeno.



Além de saber as definições conceituais de cada adimensional, Coruja, é válido você conhecer a tabela a seguir! Essa tabela provém da doutrina⁶ e mostra a **correlação** de alguns adimensionais para determinadas **condições**. Já foi alvo de prova saber essas correlações.

Por isso, de tempos em tempos, julgo pertinente você dar uma olhada nessa tabela inteira, mas, sem decorar. Uma questão que cobre essa decoreba de valor será o "calcanhar de Aquiles" de todo mundo. Custo-benefício quase "0" em decorar esses valores.

Correlação	Equação	Condições
$\delta = 5xRe_x^{-1/2}$	(7.19)	Laminar, T_f
$C_{f,x} = 0,664Re_x^{-1/2}$	(7.20)	Laminar, local, T_f
$Nu_x = 0,332Re_x^{1/2}Pr^{1/3}$	(7.23)	Laminar, local, T_f , $Pr \gtrsim 0,6$
$\delta_t = \delta Pr^{-1/3}$	(7.24)	Laminar, T_f
$\overline{C_{f,x}} = 1,328Re_x^{-1/2}$	(7.29)	Laminar, médio, T_f
$\overline{Nu_x} = 0,664Re_x^{1/2}Pr^{1/3}$	(7.30)	Laminar, médio, T_f , $Pr \gtrsim 0,6$
$Nu_x = 0,565Pe_x^{1/2}$	(7.32)	Laminar, local, T_f , $Pr \lesssim 0,05$, $Pe_x \gtrsim 100$
$C_{f,x} = 0,0592Re_x^{-1/5}$	(7.34)	Turbulento, local, T_f , $Re_x \lesssim 10^8$
$\delta = 0,37Re_x^{-1/5}$	(7.35)	Turbulento, T_f , $Re_x \lesssim 10^8$
$Nu_x = 0,0296Re_x^{4/5}Pr^{1/3}$	(7.36)	Turbulento, local, T_f , $Re_x \lesssim 10^8$, $0,6 \lesssim Pr \lesssim 60$
$\overline{C_{f,L}} = 0,074Re_L^{-1/5} - 1742Re_L^{-1}$	(7.40)	Mista, médio, T_f , $Re_{x,c} \lesssim 5 \times 10^5$, $Re_L \lesssim 10^8$
$\overline{Nu_L} = (0,037Re_L^{4/5} - 871)Pr^{1/3}$	(7.38)	Mista, médio, T_f , $Re_{x,c} \lesssim 5 \times 10^5$, $Re_L \lesssim 10^8$, $0,6 \lesssim Pr \lesssim 60$

⁶ Adaptado de INCROPERA, F.P.; DEWITT, D. O.; BERGMAN, T.L; LAVINE, A.S. Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa. Editora: LTC. Rio de Janeiro, 6ª edição, 2008.



ALETAS

Coruja, quando falamos em **aletas** (ou **superfícies aletadas**) é importante que fique claro para você algumas características essenciais sobre elas. Esse tópico é mais raro de cair em prova e, quando aparece, é sobre as características em **regime permanente** e **unidirecional**.

O primeiro ponto que você precisa saber é o **motivo** pelo qual elas existem. Oras, quando há necessidade de se **aumentar** a taxa de transferência de calor de uma superfície temos dois cenários possíveis: ou elevamos o **coeficiente de transferência de calor por convecção** (h) ou elevamos o tamanho da **área** dessa superfície. (Óbvio, né, Estrategista? Ambas as grandezas são diretamente proporcionais, veja a fórmula novamente):

$$q_{cv} = h \cdot A \cdot \Delta T;$$

Como aumentar o coeficiente convectivo é trabalhoso (exigiria colocar uma bomba ou ventilador para intensificar o movimento do fluido), a solução de **aumentar a superfície de contato** (aumentando a área) é uma boa opção. Eis que a **aleta** passa a ter seu valor, elevando a troca por **convecção** e, também, por **radiação**! (Tenha atenção a esse ponto, pois a doutrina dominante **não** cita **condução** e é de onde a banca se baseia para fazer sua questão!).



Atenção! As **aletas** são feitas, normalmente, por materiais mais condutores (**alumínio**) e são produzidas por **extrusão**, **solda** ou **fixação de folhas de metal** sobre a superfície.

Estrategista, além disso, uma informação que tem "cheiro de prova" é sobre a variação do **coeficiente convectivo** ao **longo** da **aleta**! Em geral, a doutrina menciona que a análise de aletas é feita em **regime permanente** (como eu já disse), sem geração de calor, condutividade do material (k) e coeficiente convectivo (h) **constantes** ao longo da superfície da aleta.

Todavia, atenção, pois a literatura específica⁷ deixa claro que, normalmente, ele possui um valor **mais inferior** na **base** da aleta (região de interface com a superfície) do que na **ponta** da aleta. Show? Isso porque ele varia conforme o **movimento do fluido** na superfície da aleta, Coruja, e, na **base** da aleta, a superfície da própria região que a aleta se encontra perturba esse movimento que, por outro lado, na ponta da aleta,

⁷ Adaptado de ÇENGEL, Y. A.; GHAFAR, A.J.; KANÖGLU, M. Transferência de Calor e Massa: Uma Abordagem Prática. 4ª edição. Editora: AMGH Ltda. Porto Alegre, 2012.



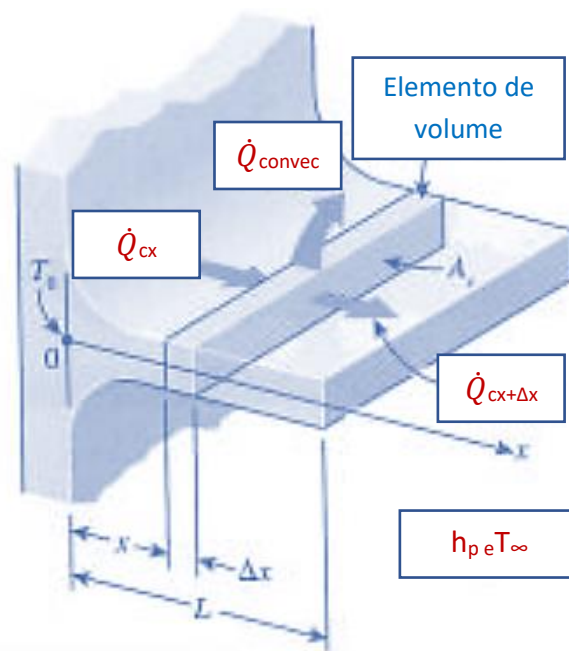
tende a ser mais livre, implicando baixa resistência para o fluido se movimentar e aumentando o coeficiente convectivo. Situação oposta ocorre, dado o mesmo cenário, com a **temperatura** (ela tende **diminuir** ao longo da aleta em direção a sua ponta).

Equação da aleta

Estrategista, se pegarmos um elemento de volume (uma região de volume qualquer de uma aleta retangular que é o formato mais simples) e formos avaliar o balanço de energia nessa região, temos a seguinte relação:

$$\dot{Q}_{c,x} = \dot{Q}_{c,x+\Delta x} + \dot{Q}_{convec};$$

Ou seja, a equação quer dizer que o fluxo de calor por condução que passa pelo elemento x é igual a soma do fluxo de calor que passa pela extensão unidimensional (delta x) desse elemento e o fluxo de calor por convecção perdido no perímetro "p" da aleta. Veja na figura esquemática⁸ a seguir:



Oras, como para a convecção temos:

$$\dot{Q}_{convec} = h(p \cdot \Delta x) \cdot (T - T_{\infty});$$

Fazendo a substituição na primeira equação, dividindo por Δx e igualando a zero, temos:

⁸ Adaptado de ÇENGEL, Y. A.; GHAJAR, A.J.; KANÖGLU, M. Transferência de Calor e Massa: Uma Abordagem Prática. 4ª edição. Editora: AMGH Ltda. Porto Alegre, 2012.



$$\frac{\dot{Q}_{c,x+\Delta x} - \dot{Q}_{c,x}}{\Delta x} + hp \cdot (T - T_{\infty}) = 0;$$

Efetuada o limite quando $\Delta x \rightarrow 0$, temos:

$$\frac{d\dot{Q}_c}{dx} + hp \cdot (T - T_{\infty}) = 0;$$

Pela Lei de Fourier que conhecemos para condução, temos a seguinte expressão, na qual a área "A" é a área transversal da aleta na posição "x":

$$\dot{Q}_c = -k \cdot A \cdot \frac{dT}{dx};$$

Fazendo a substituição, chegamos em uma equação diferencial de transferência de calor em aletas:

$$\frac{d}{dx} \left(k \cdot A \cdot \frac{dT}{dx} \right) - hp \cdot (T - T_{\infty}) = 0;$$

Para aletas de seção transversal constante, Coruja, (como a retangular) e condutividade constante, conseguimos reduzir essa equação (caso contrário seria difícil solução) a seguinte expressão:

$$\frac{d^2 T}{dx^2} - \frac{hp}{k \cdot A} \cdot (T - T_{\infty}) = 0 \text{ ou } \frac{d^2 \theta}{dx^2} - m^2 \cdot (\theta) = 0;$$

Estrategista, de tudo isso que vimos o que interessa é você saber/conhecer três coisas:

- A expressão $m^2 = \frac{h \cdot p}{k \cdot A}$ (já foi cobrada e somente é preciso saber a relação do perímetro, coeficientes e área);
- $\theta = (T - T_{\infty})$ equivale ao excesso de temperatura;
- A solução da equação diferencial são **funções exponenciais** e^{-mx} ou e^{+mx} , ou múltiplos constantes dessas soluções;

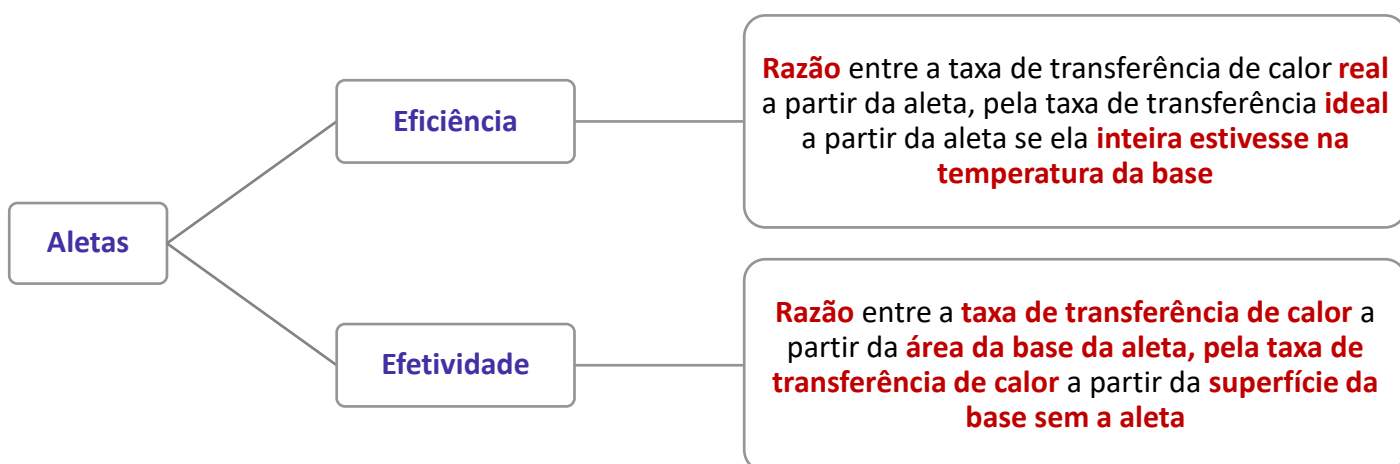
Coruja, sobre equação da aleta, acho que fomos até longe demais. Os demais casos específicos que a doutrina nos mostra, acredito ser de baixíssima probabilidade de cair na sua prova. Aliás, tirando os aspectos qualitativos, vi somente uma questão abordar a expressão "m" ao longo de milhares de questões avaliadas.

Um outro ponto que também é raro em provas, mas pode vir a aparecer é quanto a **eficiência** da aleta. Sem adentrar muito nas especificidades e detalhes, pois a essa "altura do campeonato" você deve estar quase pirando de tanta informação para memorizar, a **eficiência da aleta** é dada pela **razão** entre a taxa de transferência de calor **real** a partir da aleta, pela taxa de transferência **ideal** a partir da aleta se ela **inteira estivesse na temperatura da base** (o que não ocorre, já que a temperatura ao longo da aleta **diminui** em relação à base da superfície).



Outra propriedade interessante sobre as aletas é quanto a sua **eficácia**. Como cita a doutrina, a utilização das aletas visa o **aumento** da transferência de calor, sendo justificado o seu emprego se esse aumento corresponder ao aumento de custo e complexidade associado a elas (claro que é mais difícil produzir uma superfície aletada). Além disso, a literatura é enfática sobre sua eficácia, pois deixa explícito que **não há nenhuma garantia** que a inclusão de aletas na superfície irá **aumentar** a transferência de calor. Dessa forma, o desempenho é avaliado com foco no rendimento da transferência de calor em relação ao caso da superfície sem aleta.

Esse desempenho é dado na literatura como a **efetividade da aleta** (e já foi cobrada em prova). Assim, sendo, a **efetividade da aleta** é expressa pela **razão** entre a **taxa de transferência de calor a partir da área da base da aleta, pela taxa de transferência de calor a partir da superfície da base sem aleta**.



RADIAÇÃO

Coruja, quando falarmos em **radiação** a primeira coisa que precisa vir a sua mente é a palavra **energia eletromagnética**. Eu digo isso, porque a radiação nada mais é que uma forma de **transferência de calor** (como já falamos várias vezes, de **energia**) emitida por meio de **ondas eletromagnéticas**.

Dessa forma, a radiação proveniente do Sol, por exemplo, chega ao nosso planeta por meio do fenômeno **ondulatório**, mais especificamente, por ondas **eletromagnéticas**. Além do Sol, qualquer corpo que possua energia armazenada em forma de calor, emite radiação, desde que sua temperatura não seja **nula**!



Estrategista, pega o "bizu": falou em **radiação**, falou em **energia** e **ondas eletromagnéticas**!

"Tá, entendi, Professor! Mas, na prática, como isso ocorre?". Estrategista, a emissão de energia vai ocorrer, principalmente, pelas **mudanças que ocorrem nas configurações eletrônicas dos átomos** e moléculas constituintes do **corpo emissor**. Nesse sentido, a energia será emitida na forma de **fótons**, que são como "pacotes energéticos" que emitem **luz**.

Além disso, uma característica importante para sua prova é que **distingue** a radiação dos demais tipos de mecanismo já visto na aula (condução e convecção) é a possibilidade da energia ser conduzida **sem** um **meio material** presente. Ou seja, as **ondas eletromagnéticas** podem ser propagadas no **vácuo**.

É por conta dessa propriedade da **radiação** (por serem **ondas eletromagnéticas** e **não mecânicas**) que a luz solar consegue atravessar o **vácuo** do nosso universo e chegar, com energia (**calor**), na superfície terrestre. Por isso, grave para sua prova:



A **radiação** pode ser propagada **sem um meio material** - como no **vácuo** - por ser emitida em forma de **ondas eletromagnéticas**!

Além disso, Estrategista, um detalhe interessante que você deve ter percebido é a menção a **temperatura não nula** para emissão de radiação. Será que um corpo a uma temperatura de **0 °C** emite radiação, já que sua temperatura é **nula**? **ATENÇÃO!**

Conforme já comentei, você precisa ter em mente a lógica do **zero absoluto**! Se aparecer em prova, você precisa avaliar em qual **escala** a questão se refere. Lembra quando comentei sobre as escalas (Celsius, Fahrenheit e Kelvin)? Então, se a temperatura for 0 Kelvin, de fato, **não há** emissão de **radiação**, pois é a **temperatura nula**! Nada de confundir na prova, hein?

Logo, um corpo com uma temperatura de 0 °C ainda emite radiação, **sim**! Justamente, porque ele não está no **zero absoluto** como na escala **Kelvin**! O que só aconteceria na escala Celsius se fosse -273 °C.

Antes de adentrarmos no estudo das fórmulas no que tange à radiação, vamos entender alguns conceitos como os de **corpo negro** e **corpo cinzento**.





Coruja, antes de prosseguirmos, é importante você saber sobre a diferença entre **radiação** e **irradiação**. A **radiação** é o **macanismo** de transferência de calor que vimos. Já a **irradiação**, para a doutrina⁹, é a **taxa na qual a radiação** incide em **uma superfície específica por unidade de área** dessa superfície! Todavia, algumas questões acabam tratando os termos como sinônimos e outras questões, não. Por isso, tenha em mente essa diferença! Se a questão abordar as duas definições, com certeza ela deixará claro de qual estará falando!

CORPO NEGRO E CORPO CINZENTO

Estrategista, quando se tem um corpo "ideal" sob o ponto de vista da **radiação**, temos a classificação denominada de **corpo negro** - uma classificação inerente ao grau de **emissividade** de radiação de um corpo, sendo o **corpo negro** o grau mais alto possível **no qual quase toda energia possível a ser emitida por radiação é transferida por esse mecanismo**.

Além disso, o ele possui a capacidade de **absorver toda a radiação que é emitida para ele por outros corpos**, pois absorve toda a energia que incide em sua superfície.

Por conta desses fatores, o **corpo negro** é um corpo hipotético e temos que, para ele, em um ambiente **aberto**, sem **envoltório** em sua vizinhança, **a taxa de transferência de calor** é dada pela seguinte relação:

$$q_r = \sigma \cdot A \cdot T^4$$

Na qual:

- **q_r**: taxa de transferência de calor por radiação do corpo, em W;
- **σ**: constante dimensional de *Stefan-Boltzmann*, que vale $5,67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot K^4}$;
- **A**: área da superfície emissora, em m²;
- **T**: temperatura do corpo, em K;

⁹ INCROPERA, F.P.; DEWITT, D. O.; BERGMAN, T. L.; LAVINE, A.S. Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa. Editora: LTC. Rio de Janeiro, 4ª edição, 2008.



Outra informação importante que pode surgir na sua prova, Coruja, é quanto a **energia de radiação emitida** pelo corpo de prova (que nada mais é que a mesma lógica da equação acima, mas em termos de área unitária). Assim:

$$E = \sigma \cdot T^4;$$

Perceba, Coruja, que essa relação tem sentido para **corpo negro** e sem **envoltório** em sua **vizinhança**. É como se fosse um **corpo negro** em um ambiente aberto, sem estar em troca com outro corpo.

Todavia, Estrategista, teremos uma modificação em nossa equação supramencionada caso as situações sejam diferentes. Se tivermos, além do **corpo negro** emissor e receptor de radiação em uma taxa ideal, um envoltório (por exemplo, uma caixa) também com característica de uma **corpo negro**, ou seja, também emissora e receptora ideal, teremos uma **diferença** de **transferência de calor** denominada de **líquida** e dependente da temperatura de cada corpo. Vejamos:

$$q_{rl} = \sigma \cdot A_1 \cdot (T_1^4 - T_2^4)$$

Na qual, temos:

- **q_{rl}** : taxa de transferência líquida, em W;
- **σ** : constante dimensional de *Stefan-Boltzmann*, que vale $5,67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot K^4}$;
- **A_1** : área da superfície emissora, em m^2 ;
- **T_1** : temperatura do corpo 1, em K;
- **T_2** : temperatura do corpo 2, em K;

Repare, Coruja, que agora temos a área a ser identificada como a área do corpo 1 (**A_1**), pois ele é que está sendo analisado quanto a sua emissão de calor por radiação.

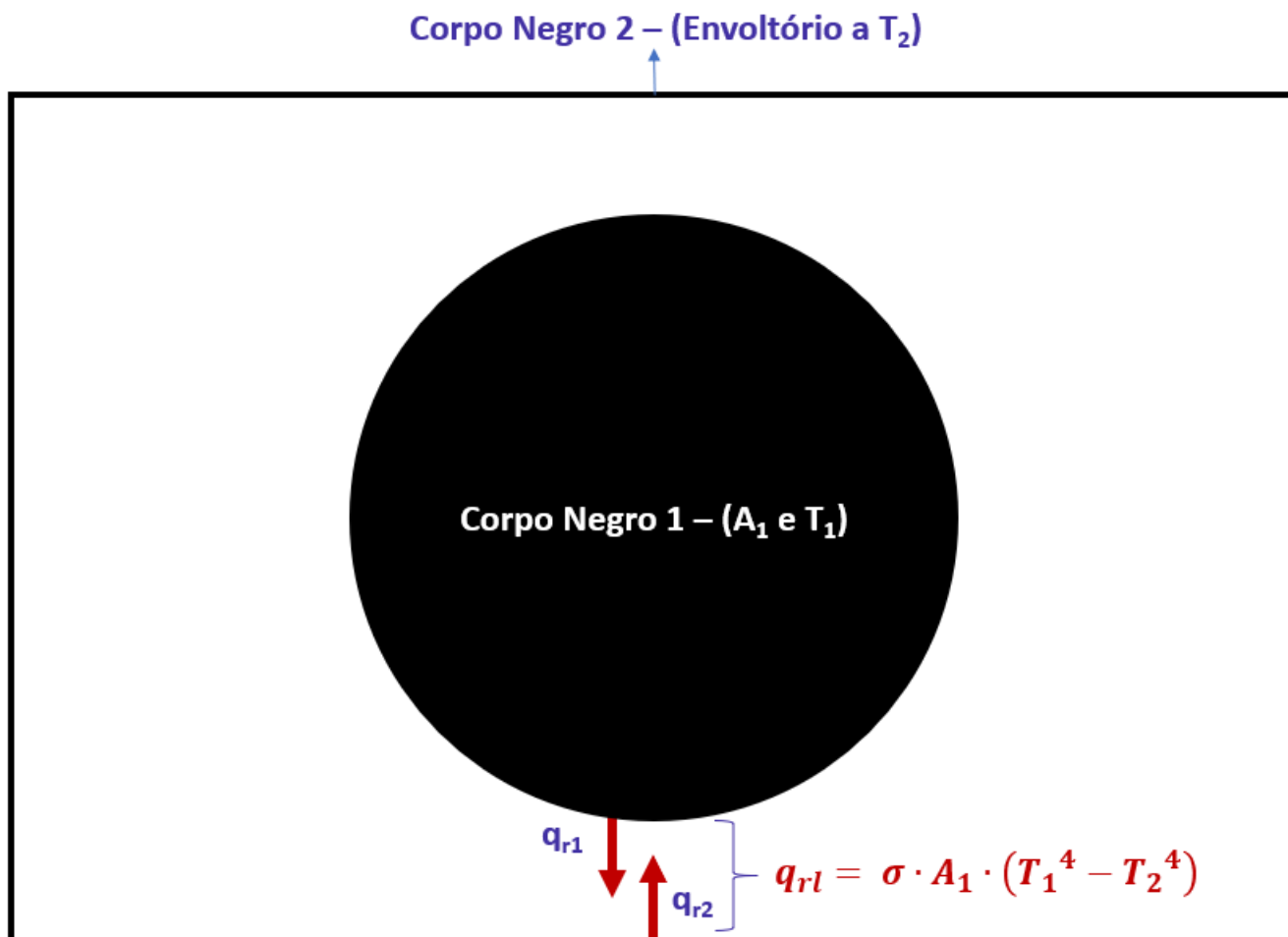
CURIOSIDADE



Só para você saber, Coruja (vai que alguma questão aborde o tema), **Stefan e Boltzmann** foram dois cientistas que contribuíram muito para o desenvolvimento da equação acima e na determinação da **constante** por vários experimentos laboratoriais. ;).

Assim, como você pode perceber pela equação, a taxa líquida vai ser estabelecida pela diferença de **temperatura** entre os corpos. Veja a figura abaixo para ilustra essa situação:





Nesse sentido, essa variação de temperatura será bem delimitada se os dois corpos forem cada um corpo negro, já que suas taxas de emissão de radiação e absorção serão ideais sem influência de outros fatores.

A emissão de radiação e absorção são conceitos que andam juntos, Estrategista. Dessa forma, se um corpo tiver maior temperatura que outro, sua taxa de emissão é **maior** que sua taxa de absorção de radiação.

Dessa forma, como os dois são **corpos negros**, temos que somente a diferença de temperatura é o suficiente para encontrarmos a **taxa de transferência de calor líquida** do corpo 1 (nesse caso).

Essas duas equações supracitadas, Coruja, satisfazem a lógica para exercícios que vão mencionar um objeto com característica de corpo negro. Todavia, na realidade, os corpos não se comportam como eles, sendo que a taxa de transferência de calor será impactada por um **índice de emissividade** (que varia de 0 a 1).

Assim, para corpos **reais**, por exemplo, teremos um **taxa de transferência líquida de calor** que será uma fração menor daquela aplicada caso fosse um corpo negro.

Como veremos adiante, temos características relacionadas ao **índice de emissividade** para os corpos cinzentos e para os corpos reais (que são corpos diferentes, com algumas propriedades similares).



A **emissividade**, Coruja, é definida como sendo a **radiação total emitida** dividida pela **radiação total que poderia ser emitida pelo corpo se caso ele fosse um corpo negro** (na mesma temperatura de análise, é claro).

Para esses corpos, a literatura e a academia utilizam o termo **corpos cinzentos**. A equação que vai reger a relação para um **corpo cinzento** irá considerar o índice de **emissividade**. Dessa forma, Estrategista, temos a seguinte equação:

$$q_{rl} = \epsilon \cdot \sigma \cdot A_1 \cdot (T_1^4 - T_2^4)$$

Na qual, além das outras variáveis já especificadas anteriormente, teremos o **índice de emissividade** expresso por ϵ , adimensional, variando de 0 a 1, conforme o material. Aqui, vale mencionar a **Lei de Kirchhoff** que relacionou a **absorvidade** e a **emissividade** de um corpo, concluindo que **fortes emissores** em **dado comprimento de onda (monocromática)**, são **forte absorvedores** de radiação também. De maneira análoga, os **corpos** que são **fracos absorvedores**, também são **fracos emissores**.



Alguns renomados autores, como Keith, Manglik e Bohn (2016), citam o fator **emissividade** com **outras denominações**. Na realidade, são fatores relacionados, por exemplo, ao **material** e pode ter certeza que a questão lhe fornecerá, sendo o cálculo para cada tipo pouco relevante para nosso estudo! Mas, saiba que existe!

ANALOGIA COM SISTEMA ELÉTRICO - RADIAÇÃO

Assim como para os mecanismos de convecção e condução, Estrategista, também teremos para a radiação a analogia presente na literatura consagrada com **sistemas elétricos**, a fim de (como já vimos) facilitar problemas que englobam mais de um tipo de mecanismo.

Nesse sentido, teremos uma fórmula para a **condutância por radiação**, expressada por:

$$k_r = \frac{\epsilon \cdot \sigma \cdot A_1 \cdot (T_1^4 - T_2^4)}{(T_1 - T_2)} \left(\frac{K}{W} \right);$$

E para a **resistência térmica por radiação**, expressada por:

$$R_r = \frac{(T_1 - T_2)}{\epsilon \cdot \sigma \cdot A_1 \cdot (T_1^4 - T_2^4)} \left(\frac{K}{W} \right);$$

PROPRIEDADES RELEVANTES DA RADIAÇÃO

Estrategista, lembra quando eu mencionei no começo do nosso estudo que a **radiação** transmite energia (calor) por meio de **ondas eletromagnética**? Pois bem. Algumas propriedades específicas e importantes para sua prova vão ter origem nas características ondulatórias.

Nesse sentido, Coruja, entender que a **radiação** vai também **depende** de alguns fatores inerentes ao **comprimento de onda**, além da **temperatura** do corpo em análise. Lembra do ensino médio, Estrategista, quando o professor de Física lecionando sobre ondulatória, apresentou a você as diferentes faixas de comprimento de onda? É exatamente o mesmo princípio.

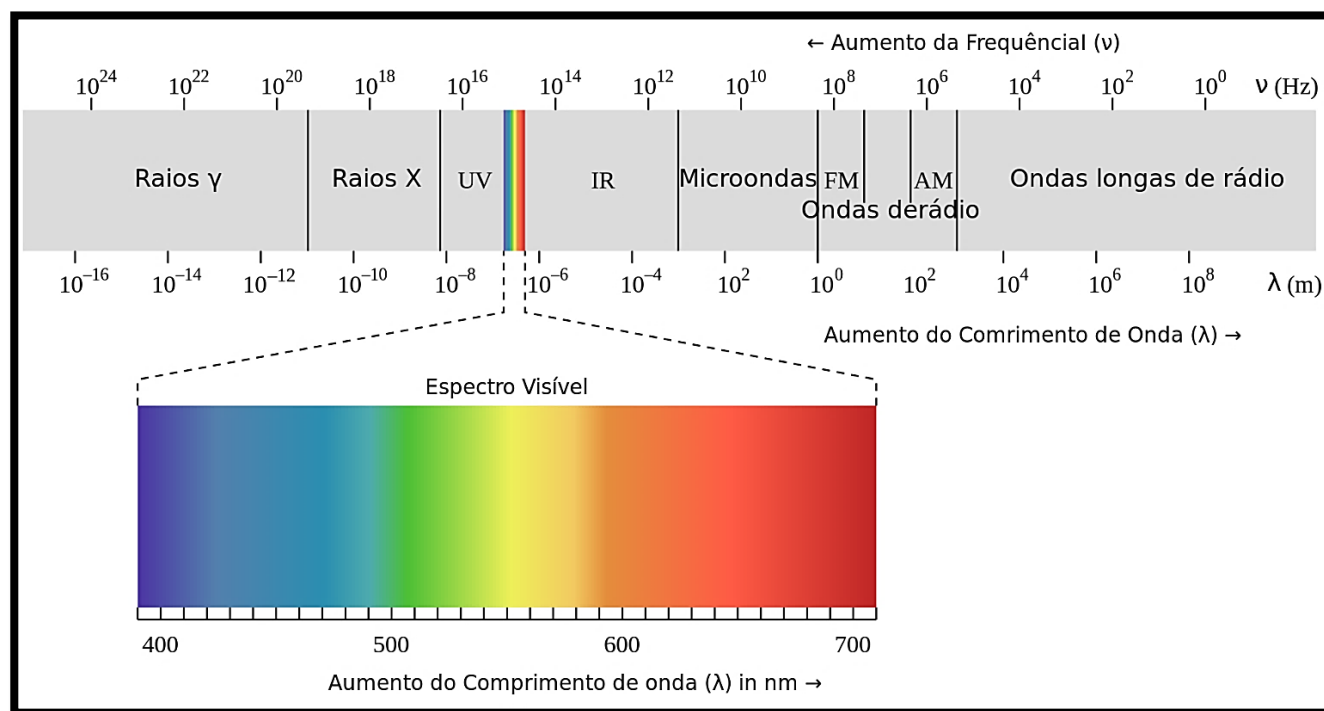
A **depende dos valores de comprimento de onda** teremos diferentes impactos nos problemas reais no que tange a **radiação**. Um exemplo que posso citar para ilustrar é a radiação solar. O Sol emite radiação com comprimentos de ondas menores que 3 µm (micrometros) com sua temperatura de cerca de 5800 K. Nesse sentido, a radiação que adentra nossa camada de ozônio consegue atravessá-la e boa parte fica retida por conta das diferenças no comprimento de onda.

Esse fenômeno gera o efeito estufa (famoso) e que nos permite viver na Terra. O mesmo raciocínio ocorre com estufas de vidro que permite o raio solar adentrar nesses comprimentos, mas possui o vidro **opaco** (não emissor) à radiação que é emitida dentro da estufa. Isso ocorre pelo mesmo princípio já que o comprimento de onda eletromagnética do interior da estufa mudou.

Portanto, Estrategista, fica fácil entendermos o porquê do dióxido de carbono alterar a temperatura da Terra, já que muda a composição da camada de ozônio e assim permite uma maior absorção da radiação pela concentração desse gás em faixa de comprimento de onda específica. Com isso, aumenta a energia (calor) e aumenta a temperatura da Terra. Pegou o "bizu"?



Veja a figura a seguir que mostra as principais faixas de comprimento de onda e as **cores** respectivas.



10

Perceba na figura acima que temos a **radiação monocromática** que consiste na quantidade de radiação emitida para cada faixa de comprimento de onda. Pela figura, podemos perceber os tipos de ondas emitidas para cada comprimento. Veja como as ondas de **rádio** e de **energia elétrica** são consideravelmente **maiores** que as ondas de **raios gamas**, por exemplo.

No **espectro** de **radiação térmica**, temos a imagem ampliada, permitindo a visualização dos **comprimentos de onda (λ)** e a suas respectivas **frequências**. Veja, Estrategista, que na faixa de comprimento de ondas visíveis (a **luz visível**), vai de uma escala do **violeta** ao **vermelho**, do **maior** para o **menor** comprimento dentro dessa faixa.

Todo esse raciocínio, Coruja, vai acompanhar a propriedade que descrevi no começo da aula sobre o **comprimento de onda**. O que você precisa levar para sua prova é que ele **interfere diretamente** na **radiação** de um corpo.

Uma dúvida que pode surgir é quanto ao **corpo negro**. Em seus estudos, o cientista *Max Planck* desenvolveu a Lei dos Corpos Negros, na qual permitia analisar a emissão espectral de radiação em **função do comprimento de onda, por tempo e área desse corpo**.

¹⁰ Adaptado de Wikimedia Commons em https://commons.wikimedia.org/wiki/File:EM_spectrum_pt.svg. Acesso em: 16/12/2019.



Nesse sentido, além da propriedade inerente a **temperatura** e ao **comprimento de onda**, a **direção não influencia** na **radiação do corpo negro**, pois ela é de caráter **isotrópico**! (Lembre-se, Coruja, que ele é um corpo **hipotético**, desenvolvido para fins laboratoriais).

Já para **corpos cinzentos**, Coruja, a **direção** da **radiação também será importante**! Isso porque sua forma física e geometria também vão impactar na emissão de radiação! Em corpos cinzas, o **índice de emissividade** (vimos ele anteriormente) será sempre menor que **1**, e será uma **fração constante** da emissividade de um corpo negro (que é ideal).

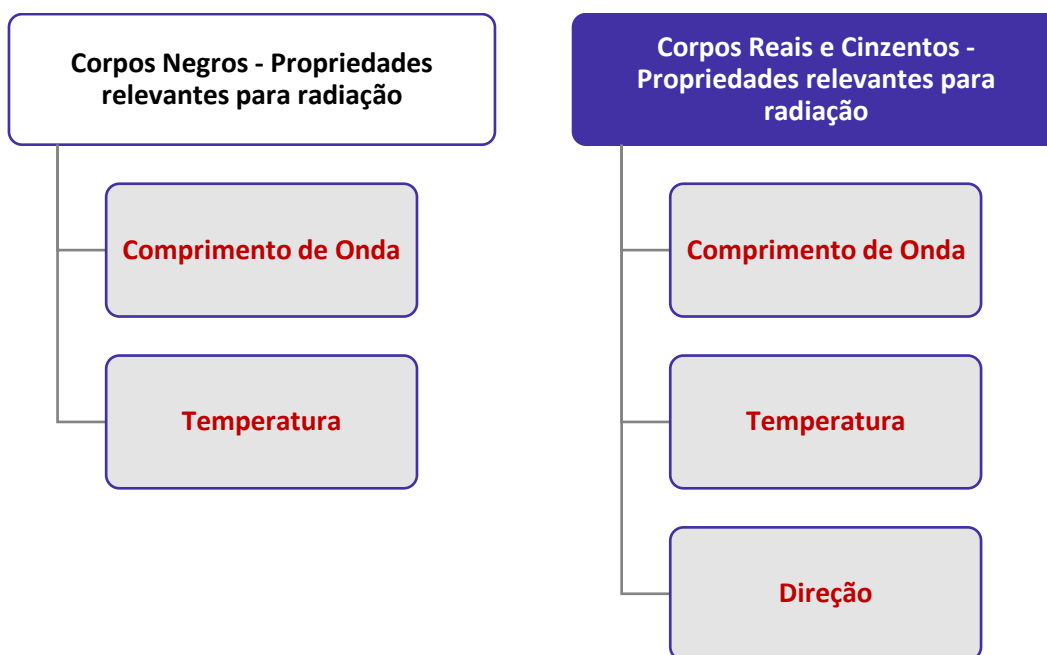
"E os corpos reais, Professor?"

Para os **corpos reais**, Estrategista, o que eu quero que você tenha em mente é que além da radiação **variar** conforme **a direção**, a **fração** (índice de emissividade) da radiação **não será constante** e irá **oscilar** de acordo com o **comprimento de onda**. Para nossa prova, Coruja, é isso que você precisa saber!



Coruja, lembre-se: **corpos cinzentos NÃO são corpos reais**! Se a questão afirmar que são iguais, pode marcar como errado! ;)

Por conta disso, memorize, Estrategista:



Além desses fatores, Coruja, por conta dessa natureza do mecanismo de radiação, surge o famoso **Fator Forma** que a literatura específica¹¹ costuma definir.

Esse fator nada mais é que uma **fração** da radiação que deixa a superfície de um corpo (a uma dada área específica) e atinge a superfície de outro corpo (a uma dada área específica). Por conta dessa relação, esse fator é **adimensional** e representa para gente que a quantidade de energia transferida por **radiação** também é impactada pela forma dos corpos que estão trocando essa energia.

Dessa forma, Coruja, da uma superfície 1 e uma superfície 2, o **fator forma F_{12}** é a **fração de radiação que deixa a superfície 1 e atinge superfície 2**. Para sua prova, basicamente, teremos esse fator forma considerado como difuso, já que é como a literatura específica apresenta e como as bancas cobram (e quando cobram esse assunto). Assim, o que você precisa saber é que entre duas superfícies o fator forma entre elas vai depender tanto da **orientação relativa** quanto da **distância** entre elas. Nesse sentido, temos a relação geral (depois dos cálculos diferenciais e integrais, que não há necessidade de conhecermos), expressa por:

$$A_1 \cdot F_{12} = F_{21} \cdot A_2$$

E o que essa expressão significa? Ela mostra para nós, Coruja, a **relação de reciprocidade** dos fatores de forma. Ou seja, a expressão permite sabermos o fator de forma de uma superfície, conhecendo outra e suas áreas.

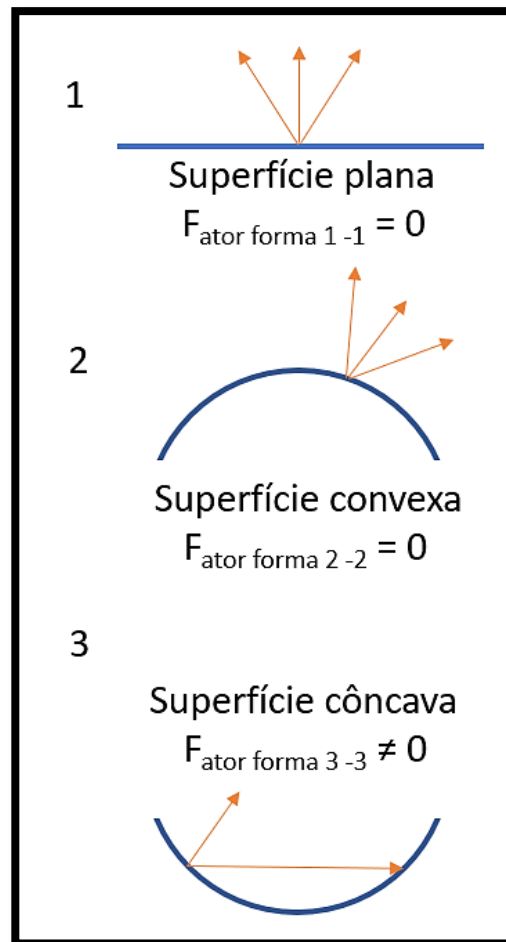
Coruja, o fator forma ele varia de 0 a 1. Aqui, eu quero que você leve para sua prova duas situações que podem aparecer:

- **Fator de forma = 0**; situação na qual as **duas superfícies não tem qualquer visão uma da outra**, ou seja, a radiação que deixa uma superfície não atinge a outra superfície;
- **Fator de forma = 1**; situação na qual uma superfície **rodeia** completamente a outra superfície, sendo toda radiação que deixa a superfície rodeada é interceptada pela superfície que a rodeia;

Um aspecto interessante sobre o fator de forma é que, a depender do formato da superfície emissora de radiação, parte da radiação pode ser absorvida por ela mesma. Dessa forma, como os feixes de radiação (luz) viajam no espaço e, admitindo-se que nenhuma interferência eletromagnética esteja presente, em linha reta, é fácil visualizar que superfícies **planas** e **convexas** em relação a emissão, possui **fator de forma = 0** para elas mesmas. Ao passo que para formatos **côncavos**, o **fator de forma** é diferente de 0. Veja a figura a seguir:

¹¹ Çengel, Y. A.; Ghajar, A.J.; Kanoglu, M. Transferência de Calor e Massa: Uma Abordagem Prática. 4ª edição. Editora: AMGH Ltda. Porto Alegre, 2012.





12

CASOS COMBINADOS DE MECANISMOS

Estrategista, em muitos problemas reais de engenharia, temos a presença de não só um mecanismo de transferência de calor, mas de **dois** ou **mais**. Dessa forma, torna-se relevante entendermos alguns pontos e casos importantes que podem cair na sua prova, necessitando da sua compreensão o que o problema quer e ao que ele se refere.

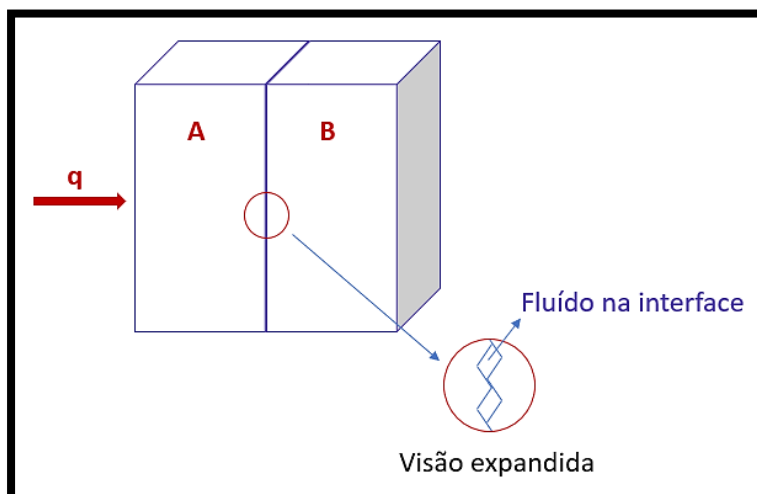
Um desses tipos de problemas que é muito comum é o de paredes planas em contato. Nessa lógica, surge a necessidade de se estabelecer a **analogia para sistemas elétricos** que vimos anteriormente. Além disso, percebe-se que entre as paredes teremos diferentes **mecanismos**: por conta da **rugosidade** da superfície, surge **ar** (fluido) entre elas, ensejando, no cálculo para um regime permanente, o **mecanismo de convecção**, além do de **condução** das próprias paredes.

¹² Adaptado de Çengel, Y. A.; Ghajar, A.J.; Kanoglu, M. Transferência de Calor e Massa: Uma Abordagem Prática. 4ª edição. Editora: AMGH Ltda. Porto Alegre, 2012.



A esse mecanismo de convecção é dado o nome de **resistência de contato térmica**, por conta da falta de ajuste entre duas superfícies. Um exemplo prático é o *chip* do processador do computador e o dissipador de calor acoplado a ele. Por conta da rugosidade, surge essa **resistência** e para eliminá-la, é necessário a aplicação de **pasta térmica**.

Veja a figura abaixo a fim de ilustrar essa situação:



13

Estrategista, na tabela¹⁴ abaixo eu trouxe alguns valores de **resistência de convecção** para alguns fluidos em situações parecidas com as que descrevi e a ilustrada pela figura, para rugosidades na faixa de 10 µm e pressão de contato de cerca de 10⁵ N/m². Veja:

Tipo de Fluido	Resistência $R_c - (10^{-4}).(m^2.K/W)$
Ar	2,75
Hélio	1,05
Hidrogênio	0,720
Óleo de Silicone	0,525
Glicerina	0,265

Perceba, Coruja, que nessa situação ilustrada, assim como em sistema combinados com uma parede que **divide dois ambientes** (típica situação colocada em questões de prova), teremos a resistência equivalente global expressa pela seguinte equação:

$$q = \frac{\Delta T}{R_{total}} = \frac{(T_1 - T_2)}{R_1 + R_2 + R_3};$$

¹³ Adaptado de KREITH, F.; MANGLIK, R.M.; BOHN, M.S. Princípios de Transferência de Calor. Editora: Cengage Learning, 7ª edição, São Paulo. 2016.

¹⁴ Adaptado de KREITH, F.; MANGLIK, R.M.; BOHN, M.S. Princípios de Transferência de Calor. Editora: Cengage Learning, 7ª edição, São Paulo. 2016.



Em uma situação na qual temos um ambiente "A" (que troca calor com uma parede de superfícies de área $X \text{ m}^2$ e com uma espessura "L" conhecida) e um ambiente "B" do outro lado da parede, temos a seguinte equação que provém da equação acima:

$$q = \frac{\Delta T}{R_{total}} = \frac{(T_1 - T_2)}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{(T_A - T_b)}{\frac{1}{ha.A} + \frac{E}{k.A} + \frac{1}{hb.A}};$$

Veja, Estrategista, que essa equação engloba a resistência térmica por convecção e condução na transferência de calor como vimos em cada mecanismos pela analogia com sistemas elétricos. Vamos fazer uma questão inédita a seguir, a fim de ilustrar essa situação descrita.



(Questão inédita)

Considere que duas placas de alumínio cuja condutividade térmica (k) é igual a 240 (W/m.K) e cada uma com 1 cm de espessura, possui, admitindo uma rugosidade de 10 μm e pressão de contato de cerca de 10^5 N/m^2 , ar entre a interface de suas superfícies. As temperaturas externas são 390 °C e 400°C.

Desse modo, qual seria a taxa de fluxo de calor por unidade de área que irá atravessar a parede descrita?

- a) $2,79.10^4 \text{ W/m}^2.\text{K}$.
- b) $4,60.10^4 \text{ W/m}^2.\text{K}$.
- c) $8,25.10^4 \text{ W/m}^2.\text{K}$.
- d) $2,79.10^3 \text{ W/m}^2.\text{K}$.
- e) $3,40.10^4 \text{ W/m}^2.\text{K}$.

Comentário:

Perceba, Estrategista, que teremos a mesma lógica descrita na figura acima, certo? Ou seja, temos uma diferença de temperatura entre as superfícies externas das placas, bem como suas **resistências térmicas** expressas analogamente a resistência elétricas, tanto para **condução** de calor de uma placa, quanto para **convecção** entre elas e, novamente, para **condução** da segunda placa.

Assim, temos para nossa resolução:

$$q = \frac{\Delta T}{R_{total}} = \frac{(T_1 - T_2)}{R_1 + R_2 + R_3}$$



Sendo que R_1 e T_1 são as resistências térmicas da superfície externa da placa 1 e R_3 e T_3 para a placa 2. A resistência R_2 será a resistência térmica para a **convecção** que irá ocorrer na interface com valor fornecido na tabela cima mencionada (para o ar, $R_{ar} = 2,75 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$).

Como a **espessura** da parede vale 1 cm, temos que a **espessura (l)** é **0,01 m**. Assim, temos:

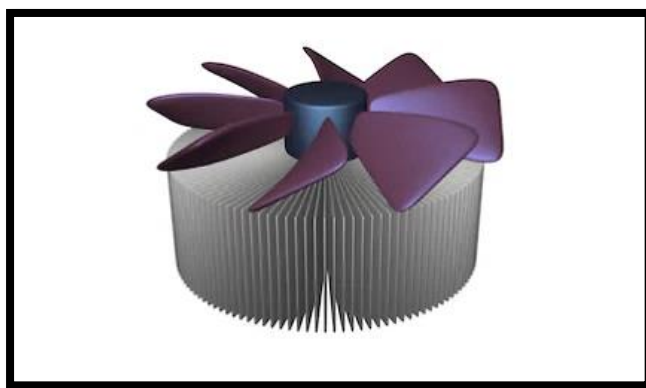
$$q = \frac{(T_1 - T_2)}{\left(\frac{l}{k}\right) + (2,75 \cdot 10^{-4}) + \left(\frac{l}{k}\right)} = \frac{(400 - 390)}{\left(\frac{0,01}{240}\right) + (2,75 \cdot 10^{-4}) + \left(\frac{0,01}{240}\right)} = 2,79 \cdot 10^4 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Gabarito: "d".

Outro tipo comumente empregado em problemas são as **aletas**. Sem adentrar aos cálculos diferenciais que fazem parte do seu estudo, pois foge do escopo das provas de concurso gerais, é importante você conhecer para que elas servem.

Nesse sentido, as aletas vão proporcionar dos tipos de mecanismos de transferência de calor (convecção e condução), principalmente. Dessa forma, em um **dissipador** de computador ligado ao processador (uma das peças que mais gera calor no sistema), teremos a **transferência de calor por condução**, através do contato do dissipador com o *chip* do processador (facilitado pela **pasta térmica** que vai ajudar na amenização da rugosidade entre as superfícies).

Além desse processo, com a **ampliação da área de troca** proporcionada pelas aletas, conforme a figura abaixo, teremos a **transferência de calor por convecção**, sendo, nesse exemplo, uma convecção **forçada** na qual atua o **ventilador** (*cooler*), ajudando na dissipação desse calor e amenizando a temperatura do microprocessador.



15

¹⁵ Adaptado de Shutterstock em <<https://www.shutterstock.com/pt/image-illustration/cpu-computer-cooling-fan-heat-sink-1487761997?src=ac7f0ce1-7933-4056-b69f-5ce4db6cdf9-1-15&studio=1>>. Acesso em: 16/12/2019.



Além dessa lógica exemplificada, outro conceito que já apareceu em prova, Coruja, é sobre o **raio crítico de isolamento**. Este conceito está intimamente relacionado com de **espessura crítica**.

Em **sistemas combinados** de **troca de calor**, Estrategista, nos quais temos dois mecanismos (como **condução** e a **convecção**, nessa situação problema) há uma relação clara entre a **condutividade térmica** e o **coeficiente de transferência de calor por convecção**.

Nesse sentido, temos que a diferença entre o **raio externo** e o **raio interno** (mesma lógica para sistemas de tubos isolados), será a **espessura** da **parede** de troca de calor. Nessa parede, teremos os dois mecanismos: **condução** (interna pela parede do tubo) e **convecção** (superfície do tubo externa com o meio).

Todavia, o coeficiente de transferência de calor por **convecção** é **muito superior** à **condutividade térmica**. A depender do fluido que a troca por convecção está sendo realizada, a **taxa de transferência de calor** aumenta consideravelmente pela convecção. Dessa forma, existe um **raio máximo** para uma **taxa máxima**, que irá compensar, pela sua área superficial em contato com o fluido, a sua espessura que também será máxima e que dificultará a transferência por condução.

Assim, com a mesma lógica para se estipular a **espessura crítica de isolamento**, a **raio externo** de um tubo para uma **taxa máxima** de transferência de calor é dada pela seguinte relação:

$$re = \frac{k}{h};$$

Onde:

- **k**: é a nossa conhecida **condutividade térmica** (W/m.K) ou (W/m.ºC), representando a transferência por condução;
- **h**: é o nosso conhecido **coeficiente de transferência de calor por convecção** (W/m².K) ou (W/m².ºC), representando a transferência por convecção;
- **re**: o raio externo, representado em metros (m), sendo ele o nosso **raio máximo** que representa a **taxa máxima** de transferência pela maior superfície de contato com o fluido.

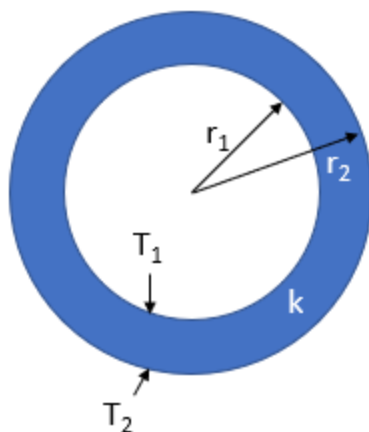
Assim, Estrategista, temos um **raio externo** que é também um **raio crítico**, no qual vai representar a medida pela qual a resistência térmica global (resistência térmica por convecção e por condução) será mínima e a taxa global de transferência máxima.

É como se por um lado, Coruja, tivermos um **raio externo maior** de um fio e, assim, uma **espessura** desse fio também **maior** fazendo com que a **condução** seja **menor**. Oras, claro, já que temos mais "material" para o calor atravessar.



Todavia, a área superficial desse fio será **maior** também por conta do **raio externo maior** o que gera maior "contato" com o fluido externo e **maior** troca por **convecção**. Como a **convecção** se sobrepõe à **condução**, porque seu coeficiente "rouba" mais calor, temos que ela compensa essa espessura maior. Pegou o "bizu", Coruja?

Para finalizar, Coruja, um tipo de transferência de calor que pode ser explorada na sua prova e alinhada com o conceito de raio crítico é aquela através de um tubo. Esse tipo de transferência também pode ser modelada como permanente (estacionária) e unidimensional. A direção, nesse caso, é a radial (considera o **raio** do tubo). Como a situação é permanente, o fluxo de calor que atravessa o tubo é igual ao fluxo fora dele. Assim, considerando o tubo a seguir, temos a Lei de Fourier aplicada para uma área $A = 2.\pi.r.L$, na qual o "r" é o raio que vai depender da posição do tubo e "L" é o seu comprimento. Logo a área "A" será variável, pois ela depende do raio.



Para essa situação, Estrategista, feita a integração da Lei de Fourier, temos a seguinte expressão para o fluxo de calor que passa por um tubo como da figura:

$$\dot{q} = \frac{2.\pi.L.k.(T_1 - T_2)}{\ln.\left(\frac{r_2}{r_1}\right)};$$

Dessa expressão, Coruja, podemos tirar a resistência "R" do cilindro como na analogia dos sistemas elétricos que já vimos. Assim, temos:

$$\dot{q} = \frac{(T_1 - T_2)}{R_{cilindro}};$$

Na qual, o $R_{cilindro}$ será expresso da seguinte forma:

$$R_{cilindro} = \frac{\ln.\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2.\pi.L.k}$$

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Estrategista, a nossa aula chegou ao fim. Vamos fazer algumas questões, agora, a fim de fixarmos o conteúdo da aula de hoje! Bora lá! Foco no sucesso e na aprovação, hein!? Lembre-se, dica de mestre: **resolva as questões comentadas amanhã! Foco na sua revisão de 24 horas.** :)

Trouxe **vários exercícios de diversas bancas renomadas, além da CESPE/CEBRASPE!** Dessa forma, você arrebentará na sua prova, resolvendo questões sobre assunto de diferentes cargos e grandes bancas como Cesgranrio, FGV, Instituto AOCP, IBFC, Marinha, Aeronáutica, além de questões da banca do seu concurso!

Aproveito para deixar, novamente, minhas redes sociais! Possuo uma conta no **Instagram®** na qual compartilho **questões comentadas** sobre diferentes assuntos e temas de Engenharia Mecânica de tempos em tempos.

Além disso, possuo um canal no **Telegram®**! Por meio desse canal, eu compartilho outros tipos de informações pertinentes para você como **dicas de estudos, esquemas e mapas mentais de matérias e oportunidades de concurso** em Engenharia Mecânica.

Depois, dê uma olhada! ;)



[*prof.canelas;*](https://www.instagram.com/prof.canelas)



[*t.me/profcanelas*](https://t.me/profcanelas)



QUESTÕES COMENTADAS



CESPE

1. (CESPE - INPI - Pesquisador - 2014)

Julgue o item a seguir, relativos a sistemas de aquecimento.

Em um radiador à água, com eficiência de 90% e potência nominal de 460 kW, deverá ser utilizado um fluxo de fluido superior a 10 kg/s para elevar a temperatura da água em 10 °C, considerando-se o calor específico da água igual a 4,1 kJ/(kgK).

() Certo () Errado.

Comentário:

Questão tranquila, Estrategista, que mais cobra conhecimentos de ensino médio do que da nossa aula. Veja que temos um radiador, cuja eficiência é de 90%. Por isso, a **potência real** (que devemos encontrar) será **menor** do que a **nominal** fornecida. A potência real é que será transmitida para um **fluxo** de fluido superior a 10 kg/s (que é o que a questão pede para julgarmos que elevaria a temperatura em 10 °C da água, fluido a ser transportado). Oras, vamos aos cálculos:

$$\text{Potência real} = \text{Calor real a ser trocado} = 460 \text{ [kW]} \times 0,9 = 415 \text{ kW};$$

Ou seja, o fluxo de calor que esse radiador troca é de 415 kW. Agora, precisamos saber o quanto de calor que o fluxo de água fornecido "rouba" do sistema no qual o radiador está inserido. Assim, temos:

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T;$$

$$\dot{Q} = 10 \cdot 4,1 \cdot 10 = 410 \text{ kW};$$

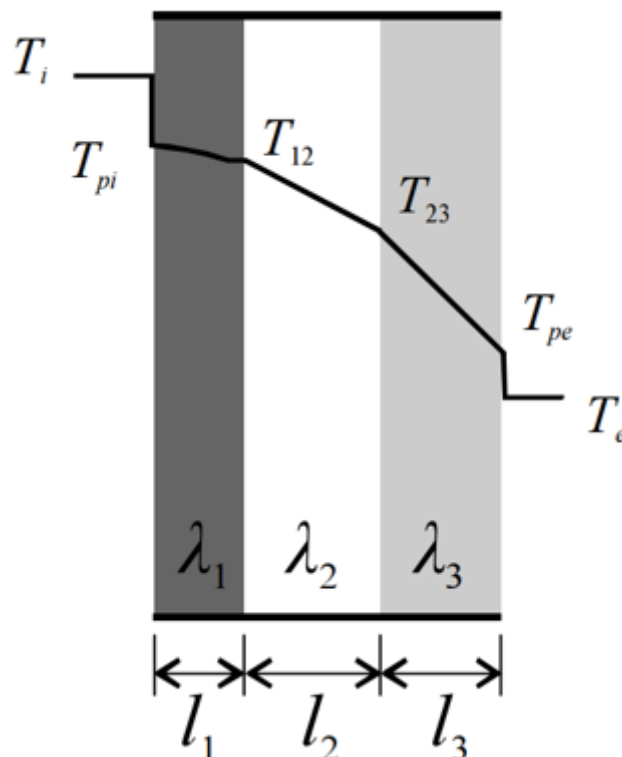
Logo, considerando o fluxo de água proposto, temos que para a elevação de 10°C de sua temperatura, basta 410 kW. Ou seja, para que essa mesma água retire 415 kW do sistema via radiador, temos que ter um **fluxo de água maior** (superior), como a afirma a assertiva, já que precisamos de uma maior quantidade



de água passando pelo radiador para retirar um calor maior (veja na equação que o fluxo de água é proporcional ao fluxo de calor).

Gabarito: correto.

2. (CESPE - IEMA - Analista - Engenharia - 2007)



A figura acima mostra esquematicamente uma parede de área S , formada por 3 camadas de materiais diferentes, de espessuras l_1 , l_2 e l_3 e condutividades térmicas λ_1 , λ_2 , e λ_3 , respectivamente, a qual separa um ambiente interno de temperatura T_i , de um ambiente externo de temperatura T_e , tal que $T_i > T_e$. Acerca dos processos de transferência de calor entre os ambientes interno e externo e com base nessas informações, julgue o item seguinte.

A potência térmica transmitida por condução é a mesma em cada transição de parede e pode ser expressa pela equação:

$$\frac{dQ}{dt} = \left(\frac{\lambda_1}{l_1}\right) S (T_{pi} - T_{12}) = \left(\frac{\lambda_2}{l_2}\right) S (T_{12} - T_{23}) = \left(\frac{\lambda_3}{l_3}\right) S (T_{23} - T_{pe}).$$

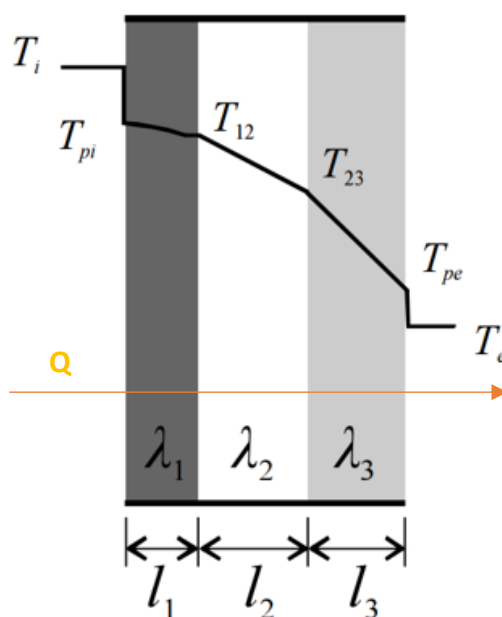
() Certo () Errado.

Comentário:

Questão extremamente tranquila, Coruja! Figuras e textos grandes para cobrar de você a relação que vimos em aula da **Lei de Fourier** com várias superfícies em série. Oras, vimos que, inclusive, esse tipo de associação tem uma analogia com os sistemas elétricos e suas respectivas resistências.

Vamos à resolução. Veja que temos a área total da parede (S), com 3 camadas de materiais diferentes (ou seja, com **condutividades térmicas** diferentes, λ_1 , λ_2 e λ_3) e espessuras diferentes, L_1 , L_2 e L_3 . Normal. Além disso, ele nos diz que a temperatura interna T_i do ambiente é maior que a externa T_e .

Oras, vimos que a cada espessura dessa parede, temos um temperatura inicial e final na **condução** de calor. Veja que para cada espessura, teremos uma temperatura inicial que começa com a temperatura do ambiente interno, até cada interface de cada espessura, chegando, na última espessura de parede com a temperatura do ambiente externo (que “rouba” calor do ambiente interno para o equilíbrio). Assim, temos o fluxo de calor Q indicado na figura:



Assim, de acordo com a Lei de Fourier, temos o fluxo de calor constante em um regime estacionário (permanente). O enunciado colocou a nível diferencial, sendo cada equação igual para cada espessura de material ao fluxo geral de calor que passa por toda a parede. Assim:

- Fluxo pela camada 1 (condutividade térmica vezes a área S e diferença de temperatura entre o ambiente interno e a interface com a segunda camada T_{12} , dividido pela espessura 1):

$$\frac{dQ}{dt} = \left(\frac{\lambda_1}{l_1}\right) S (T_{pi} - T_{12})$$



- Fluxo pela camada 2 (condutividade térmica vezes a área S e diferença de temperatura entre a interface T12 e a interface com a terceira camada T23, dividido pela espessura 2):

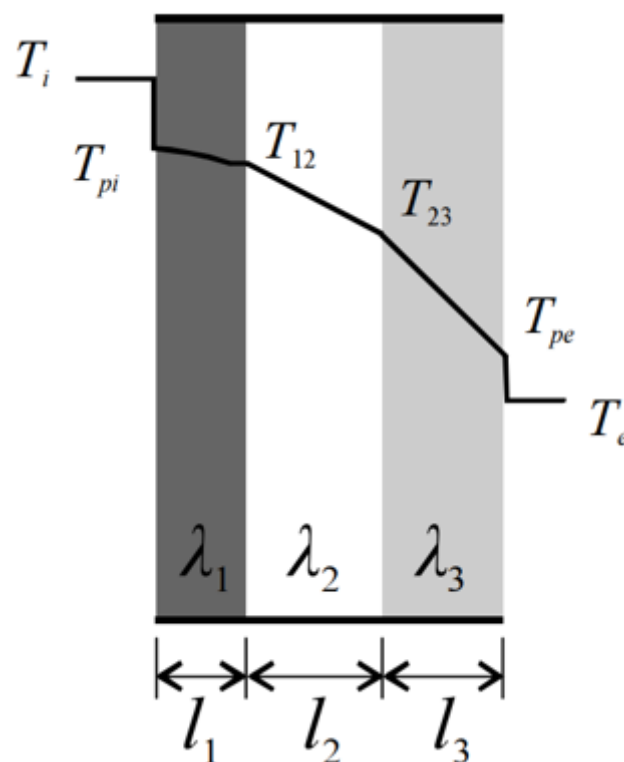
$$\frac{dQ}{dt} = \left(\frac{\lambda_2}{l_2}\right) S (T_{12} - T_{23})$$

- Fluxo pela camada 3 (condutividade térmica vezes a área S e diferença de temperatura entre a interface 23 e a temperatura do ambiente externo Te, dividido pela espessura 3):

$$\frac{dQ}{dt} = \left(\frac{\lambda_3}{l_3}\right) S (T_{23} - T_{pe}).$$

Gabarito: correto.

3. (CESPE - IEMA - Analista - Engenharia - 2007)



A figura acima mostra esquematicamente uma parede de área S, formada por 3 camadas de materiais diferentes, de espessuras l_1 , l_2 e l_3 e condutividades térmicas λ_1 , λ_2 , e λ_3 , respectivamente, a qual separa um ambiente interno de temperatura T_i , de um ambiente externo de temperatura T_e , tal que $T_i > T_e$. Acerca dos processos de transferência de calor entre os ambientes interno e externo e com base nessas informações, julgue o item seguinte.

A situação mostrada envolve os três processos de troca de calor: radiação, condução e convecção.

() Certo () Errado.

Comentário:

Opa! Apesar de, na realidade, sabermos que os corpos emitem radiação, também, além do fato de podermos ter fluido se movimentando em cada ambiente (interno e externo), a questão deixa claro que ela quer saber de você sobre a **condução**. Dessa forma, a situação do enunciado, basicamente envolve somente o mecanismo de **condução**.

Gabarito: errado.

4. (CESPE - PC-AM - Perito Criminal - Engenharia Mecânica - 2008)

Um parâmetro adimensional importante no equacionamento de processos de transferência de calor em regime transiente é o número de Biot (Bi). Acerca desse número, julgue o próximo item.

O número de Biot indica a uniformidade da distribuição de temperatura dentro do sólido, em qualquer instante.

() Certo () Errado.

Comentário:

Exatamente, Coruja! Oras, vimos que o **número de Biot** é um número adimensional que vai relacionar as resistências à condução e a convecção de calor de um corpo, sendo definido na lavra de Çengel, também, como a **razão entre a resistência interna do corpo à condução de calor e sua resistência externa à convecção de calor**. Nesse sentido, quando temos um número de Biot muito pequeno, temos uma pequena resistência à condução de calor e pequenos gradientes de temperatura no interior do corpo, indicando certa **uniformidade de distribuição** de temperatura dentro do sólido em qualquer instante (como a assertiva pontua).

Gabarito: correto.

5. (CESPE - PC-AM - Perito Criminal - Engenharia Mecânica - 2008)

Um parâmetro adimensional importante no equacionamento de processos de transferência de calor em regime transiente é o número de Biot (Bi). Acerca desse número, julgue o próximo item.

O número de Biot está diretamente relacionado à razão entre a resistência à condução em um sólido e a resistência à convecção da superfície desse sólido.



() Certo () Errado.

Comentário:

Exatamente, Coruja! Conforme vimos em aula, o número de **Biot** é um número adimensional que **relaciona** (é uma **razão**) entre o **coeficiente convectivo na superfície de um material sólido** e sua **condutância** no interior. Além disso, o número de **Biot** também pode ser expresso em termos de **resistência** (lembra da nossa analogia com sistemas elétricos?), sendo definido, também, como a **razão entre a resistência interna à condução de calor e a resistência externa à convecção**.

Gabarito: correto.

6. (CESPE - PC-AM - Perito Criminal - Engenharia Mecânica - 2008)

Um parâmetro adimensional importante no equacionamento de processos de transferência de calor em regime transiente é o número de Biot (Bi). Acerca desse número, julgue o próximo item.

Esse número fornece uma indicação do gradiente não-dimensional de temperatura na superfície de um corpo sólido.

() Certo () Errado.

Comentário:

Opa, negativo, Coruja! Vimos que o número de **Biot**, de fato, é um adimensional. Todavia, é um número adimensional que **relaciona** (é uma **razão**) entre o **coeficiente convectivo na superfície de um material sólido** e sua **condutância** no interior. Além disso, o número de **Biot** também pode ser expresso em termos de **resistência** (lembra da nossa analogia com sistemas elétricos?), sendo definido, também, como a **razão entre a resistência interna à condução de calor e a resistência externa à convecção**.

Gabarito: errado.

7. (CESPE - PF - Perito Criminal - Engenharia Mecânica - 2008)

Com relação á transmissão de calor, julgue o item que se segue.

O calor conduzido através de uma parede de aço inoxidável ($k = 17 \text{ W/m.K}$) com 4 mm de espessura, cujas superfícies estão a 400°C e 100°C , é igual a 1.725 kW/m^2 .

() Certo () Errado.

Comentário:



Mais um caso clássico de transferência de calor por **condução** em **regime permanente**, Coruja! Você verá como esse tipo de questão se repete e cai demasiadamente. Oras, o enunciado fornece tudo e basta aplicarmos nossa boa e "vêia", equação de Fourier:

$$q_k = -k \cdot A \cdot \frac{dT}{dx}$$

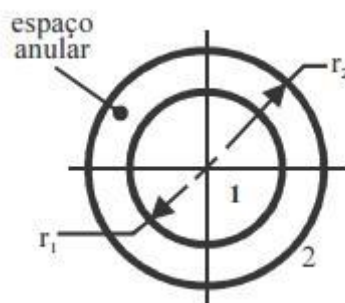
Na qual, temos:

- q_k : taxa de calor transferido, em **J/s ou W**;
- k : condutividade térmica, em **W/m.ºC ou W/m.K**;
- A : área por meio do qual o calor é transferido, em **m²**;
- dT : variação de temperatura, em **ºC** ou em **K**;
- dx : variação da distância, em **m**;

$$\frac{q_k}{A} = -17 \cdot \frac{(100 - 400)}{0,004}; \frac{q_k}{A} = 1.275,0 \text{ kW/m}^2.$$

Gabarito: errado.

8. (CESPE - SEGESP - Perito Criminal - Engenharia Mecânica - 2013)



A figura acima ilustra a vista em corte de duas superfícies cilíndricas de comprimento infinito (superfícies 1 e 2), as quais definem um espaço anular entre si. Os cilindros têm espessura de parede desprezível, sendo r_1 o raio do cilindro interno e r_2 o raio do cilindro externo.

Considerando a troca de calor por radiação no espaço anular formado entre as duas superfícies, julgue o item seguinte.

A deposição de uma fina camada de um metal polido na superfície externa do cilindro externo maximizará o seu poder emissivo.

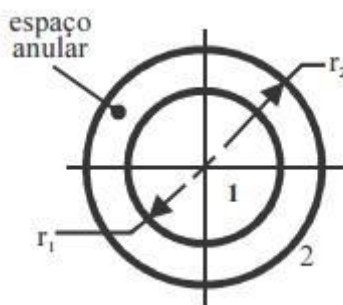
() Certo () Errado.

Comentário:

Questão tão óbvia! Claro que a colocação de uma camada (mesmo que fina) de um metal polido (ou seja, com alto índice de reflexão da luz e de ondas eletromagnéticas) irá interferir na transferência de radiação entre o corpo 1 e 2. Oras, a radiação emitida por 1 que seria absorvida pelo corpo 2 e faria parte da energia **emitida** por ele será refletida. Dessa forma, o poder emissivo do corpo 2 seria maximizado se ele absorvesse toda a radiação emitida pelo corpo 1 para ele, como um corpo negro. Lembre-se que a **emissividade** é a **razão entre a radiação emitida pela superfície em dada temperatura e a radiação emitida por um corpo negro nessa temperatura**. Ou seja, se ele reflete parte da radiação que deveria absorver, não é possível ter seu poder emissivo maximizado.

Gabarito: errado.

9. (CESPE - SEGESP - Perito Criminal - Engenharia Mecânica - 2013)



A figura acima ilustra a vista em corte de duas superfícies cilíndricas de comprimento infinito (superfícies 1 e 2), as quais definem um espaço anular entre si. Os cilindros têm espessura de parede desprezível, sendo r_1 o raio do cilindro interno e r_2 o raio do cilindro externo.

Considerando a troca de calor por radiação no espaço anular formado entre as duas superfícies, julgue o item seguinte.

Conforme o r_1 diminui, o fator de forma da superfície 2 em relação à superfície 1 (F_{2-1}) tende a um valor unitário ($F_{2-1} \rightarrow 1,0$).

() Certo () Errado.

Comentário:

Questão interessante que cobra o conhecimento **fator de forma** que vimos. Lembre-se que o fator de forma é uma **fração** da radiação que deixa a superfície de um corpo (em uma dada área específica) e atinge a superfície de outro corpo (em uma dada área específica). Podemos expressar da seguinte forma essa relação:

$$A_1 \cdot F_{12} = F_{21} \cdot A_2$$

Oras, perceba que temos a situação na qual o **Fator de forma = 1** - situação de uma superfície que **rodeia** completamente a outra superfície, sendo toda radiação que deixa a superfície rodeada é interceptada pela superfície que a rodeia.

Nesse sentido, temos a situação na qual o cilindro 1 emite radiação e toda ela é recebida pelo cilindro 2. Assim, temos a seguinte situação:

$$F_{12} = 1$$

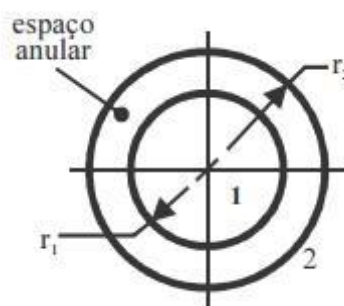
$$A_1 \cdot 1 = F_{21} \cdot A_2$$

$$F_{21} = \frac{A_1}{A_2} = \frac{R_1}{R_2};$$

Essa é a situação original do problema, Coruja. Aí, ele nos diz que o raio R_1 do cilindro interno irá diminuir. Oras, conforme esse raio diminua e tende a praticamente inexistir, de fato, teremos um fator de forma F_{21} em relação ao cilindro 2 tendendo a 0, já que não teremos mais uma superfície 1 existindo para a fração que absorveria de radiação do cilindro 2. Nesse sentido, a assertiva está errada, pois tende a 0 e não a um valor unitário (1). Questão capsiosa.

Gabarito: errado.

10. (CESPE - SEGESP - Perito Criminal - Engenharia Mecânica - 2013)



A figura acima ilustra a vista em corte de duas superfícies cilíndricas de comprimento infinito (superfícies 1 e 2), as quais definem um espaço anular entre si. Os cilindros têm espessura de parede desprezível, sendo r_1 o raio do cilindro interno e r_2 o raio do cilindro externo.

Considerando a troca de calor por radiação no espaço anular formado entre as duas superfícies, julgue o item seguinte.

No espaço anular, o fator de forma da superfície 1 em relação à superfície 2 (F_{1-2}) é igual a 0,5.

() Certo () Errado.

Comentário:

Opa! Essa ficou fácil! Oras, vimos que a situação na qual o **Fator de forma = 1** é a situação na qual uma superfície **rodeia** completamente a outra superfície, sendo toda radiação que deixa a superfície rodeada é interceptada pela superfície que a rodeia.

Nesse sentido, temos a situação na qual o cilindro 1 emite radiação e toda ela é recebida pelo cilindro 2. Assim, temos a seguinte situação:

$$F_{12} = 1$$

Nesse sentido, o fator de forma F_{12} não vale 0,5 e, sim, 1.

Gabarito: errado.

11. (CESPE - PF - Perito Criminal - Engenharia Mecânica - 2004)

Com relação à transmissão de calor, julgue o item que se segue.

Sabendo que a constante de Stefan-Boltzman $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot K^4}$, conclui-se que, pela lei de Stefan-Boltzman, a emissão radiativa de um corpo negro a 1.000 K é igual a 56.704 W/m².

() Certo () Errado.

Comentário:

Oras, questão que nos cobra a aplicação da equação de transferência de calor por radiação, dado um corpo negro. Nela, temos a **emissão de um corpo negro** em termos unitário de área (para uma área $A = 1$ m²). Assim, aplicando as informações do enunciado, temos a energia de radiação emitida por ele:

$$E = \sigma \cdot T^4; \epsilon = 5,67 \times 10^{-8} \times (1000)^4 = 56700 \text{ W/m}^2$$

Gabarito: correta.

12. (CESPE - Antaq - Engenharia Mecânica - 2008)

Considerando os princípios da transferência de calor, julgue o próximo item.

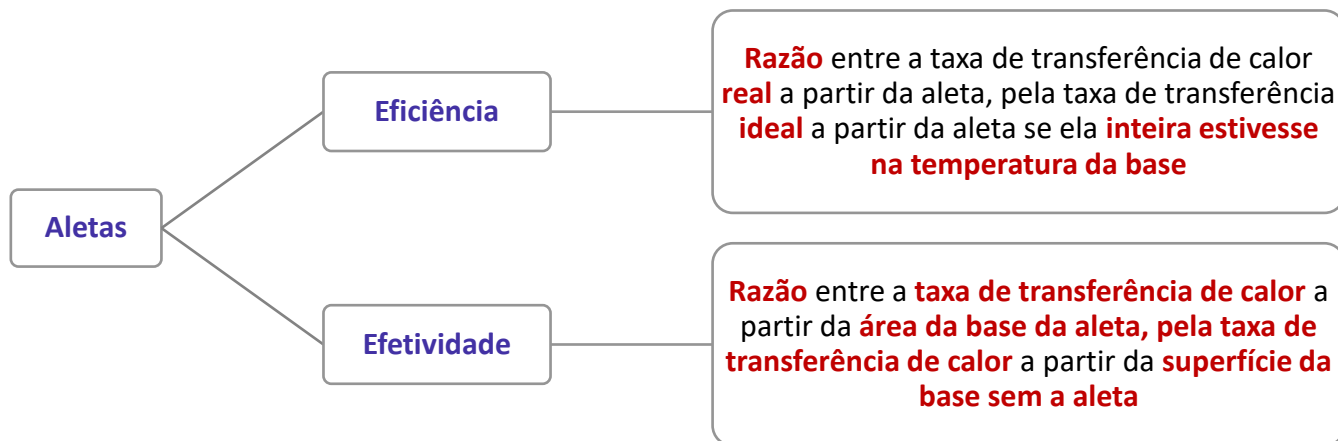
A eficiência de uma aleta é medida pela razão entre o calor dissipado pela aleta e o calor máximo que a mesma aleta poderia dissipar se a temperatura ao longo de todo o seu comprimento fosse igual à temperatura da base.



() Certo () Errado.

Comentário:

Opa! Questão perfeita, Coruja! Conforme vimos:



Gabarito: correta.

13. (CESPE - TJ-RO - Analista Judiciário - Engenharia Mecânica - 2012)

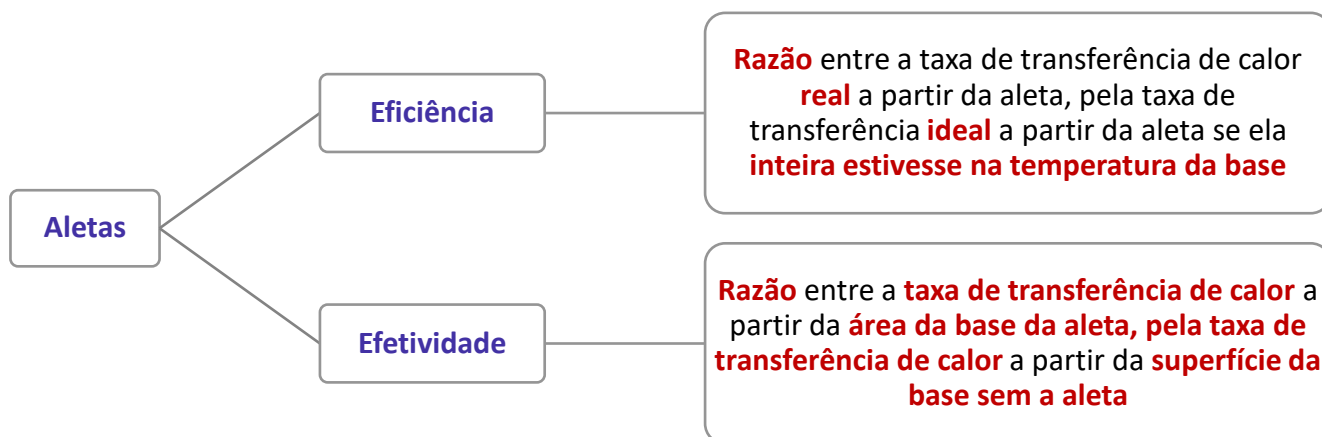
O desempenho de aletas na dissipação do calor em objetos pode ser avaliado de diferentes maneiras. Acerca desse assunto, assinale a opção correta.

- a) A eficiência de uma aleta é dada pela razão entre o calor dissipado por toda a aleta e o calor máximo que o objeto poderia dissipar, caso estivesse à temperatura igual à temperatura da base.
- b) A eficiência global de superfície de aleta é uma medida da eficiência, definida pela razão entre o calor dissipado pela superfície de uma aleta e a soma das taxas de transferência de calor de todas as aletas e do corpo do objeto.
- c) A eficiência de uma aleta é determinada pela razão entre a taxa de transferência de calor real da aleta e a taxa de transferência de calor de uma aleta do mesmo tipo com uma ponta adiabática.
- d) A efetividade de uma aleta é a razão entre a taxa de transferência de calor real da aleta e a taxa de transferência de calor através da base de uma aleta do mesmo tipo.
- e) Efetividade da aleta é a razão entre a taxa de transferência de calor da aleta e a taxa de transferência de calor do objeto, caso não existisse a aleta.

Comentário:



Questão que nos cobra, novamente, o conhecimento sobre **eficiência** e **efetividade** da aleta. Veja que pelo nosso esquema, a resposta "menos pior" é a letra "e". Digo isso, porque a definição correta, seguindo a doutrina, a exemplo de Çengel, a transferência **ideal** é caso não existisse a aleta na **área da base** do objeto e não a transferência do calor do objeto total (como pode ser interpretado, também, no final da alternativa "e"). Assim, novamente, lembre-se:



Gabarito: "e".

Cesgranrio

14. (Cesgranrio/Transpetro - Engenheiro Júnior - Mecânica - 2018)

Uma porta separa um forno aquecido do ar ambiente. A porta consiste em um material que suporta altas temperaturas e possui condutividade térmica $k = 0,05 \text{ W/m.K}$. Durante o processo de transferência de calor permanente, a temperatura da superfície interna da porta é de 300°C , e a temperatura do ar ambiente T_∞ é de 25°C , sendo o coeficiente de convecção exterior ao forno $h = 25 \text{ W/m}^2.\text{K}$.

Qual é a espessura da porta, em metros, para garantir que a temperatura da superfície externa da porta seja de 50°C ?

- a) 0,0002.
- b) 0,002.
- c) 0,02.
- d) 0,5.
- e) 10.

Comentário:



Estrategista, nesse tipo de questão, muito comum nas provas, há o raciocínio de dois mecanismos em conjunto. No caso dessa questão, temos o de convecção e o de condução, ambos em regime permanente. Dessa forma, teremos as fórmulas simplificadas para serem utilizadas.

Assim, temos que a **taxa de transferência de calor** por **condução** e por **convecção** na **superfície externa da porta** são iguais nessa situação de regime permanente (ou estacionário). Logo, basta utilizarmos as fórmulas para o mecanismo da **condução** e **convecção** nesses regimes. Veja:

$$q_k = -k \cdot A \cdot \frac{dT}{dx}$$

e

$$q_{cv} = h \cdot A \cdot \Delta T$$

Como temos para o exercício, $q_{cv} = q_k$, temos:

$$-k \cdot A \cdot \frac{dT}{dx} = h \cdot A \cdot \Delta T;$$

$$-0,05 \cdot A \cdot \left(\frac{50 - 300}{x} \right) = 25 \cdot A \cdot (50 - 25);$$

$$x = 0,02 \text{ m}$$

Gabarito: "c".

15. (Cesgranrio/Transpetro - Engenheiro Júnior - Elétrica - 2018)

Um duto cilíndrico metálico, longo, imerso na água, conduz um fluido aquecido.

Sabe-se que

- o diâmetro interno do duto é 16 cm;
- a condutividade térmica do duto é 40 W/m.°C;
- o coeficiente de transferência de calor por convecção da água é 400 W/m².°C;
- a temperatura do fluido é mantida constante;
- a transferência de calor está em regime permanente.

A espessura de parede do duto que confere a máxima transferência de calor do fluido à água é, em cm,



- a) 0,1.
- b) 0,5.
- c) 2.
- d) 4.
- e) 8.

Comentário:

Veja, Estrategista, essa questão nos cobra a aplicação direta da **espessura crítica** de tubos em sistemas de **isolamento** e de **transferência** entre dois meios (caso da questão). De acordo com que vimos na aula, em **sistemas combinados** de **troca de calor** nos quais temos dois mecanismos (como a **condução** e a **convecção**, nessa situação problema) há uma relação clara entre a **condutividade térmica** e o **coeficiente de transferência de calor por convecção**.

Nesse sentido, na questão apresentada, temos que a diferença entre o **raio externo** e o **raio interno** (mesma lógica para sistemas de tubos isolados), será a **espessura** da **parede** de troca de calor. Nessa parede, teremos os dois mecanismos: **condução** (interna pela parede do tubo) e **convecção** (superfície do tubo externa com o meio, principalmente).

Todavia, como o coeficiente de transferência de calor por **convecção** é **muito superior** à **condutividade térmica** (cerca de 10x: **$h = 400 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$** e **$k = 40 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$**), conforme **aumenta** o raio do tubo, aumenta **área de superfície de contato** com o fluido (água).

Dessa forma, a **taxa de transferência de calor** para a água aumenta consideravelmente (convecção), tendo um **raio máximo** para uma **taxa máxima**. Assim, como estudamos para tubos com **espessura crítica de isolamento**, a **raio externo** de um tubo para uma **taxa máxima** de transferência de calor é dada pela seguinte relação:

$$r_e = \frac{k}{h} = \frac{40}{400} = 0,1 \text{ m} = 10 \text{ cm}$$

Isso quer dizer que até **10 cm** de **raio máximo** atingível temos uma taxa máxima. Todavia, temos um **raio interno** do tubo igual a **8 cm** (pois seu **diâmetro** é igual a **16 cm**). Assim, basta subtrairmos o **raio externo máximo** do **raio interno** desse tubo a fim de encontrarmos a **espessura máxima** que possibilita a **máxima taxa de transferência de calor**:

$$e = r_e - r_i = 10 - 8 = 2 \text{ cm}$$

Gabarito: "c".

16. (Cesgranrio/Petrobrás - Engenheiro de Equipamentos Júnior - Mecânica - 2018)



Por uma placa de espessura igual a 3 cm passa um fluxo de calor de 120 W/m².

Qual a condutividade térmica do material com que é feita essa placa se a diferença de temperatura entre as faces da placa é igual 30 °C?

- a) 0,01 W/(m.°C).
- b) 0,05 W/(m.°C).
- c) 0,12 W/(m.°C).
- d) 0,18 W/(m.°C).
- e) 0,24 W/(m.°C).

Comentário:

Olha aí, que questão tranquila, Estrategista! Mais uma questão que cobra somente a aplicação de fórmula.

Perceba que teremos que utilizar nossa fórmula de *Fourier* do mecanismo de **condução** para a transferência de calor mencionada pela questão. Veja:

$$q_k = -k \cdot A \cdot \frac{dT}{dx}$$

De acordo com os dados fornecidos pela questão, ela cobra a **condutividade térmica** (**k**). Assim, basta substituímos a **espessura** (**x**) da placa, bem como a **variação** (**dT**) de temperatura e a **taxa de transferência de calor** (**q_k**). Perceba que não precisamos da área, pois temos a taxa **q_k** em função dela (**W/m²**). Assim:

$$q_k = -k \cdot A \cdot \frac{dT}{dx} > 120 = -k \cdot \frac{30}{0,03}$$

Logo,

$$k = 0,12 \text{ W/m.}^\circ\text{C}$$

Gabarito: "c".

17. (Cesgranrio/Petrobrás - Engenheiro de Equipamentos Júnior - Mecânica - 2014)

A transferência de calor através do vácuo envolve apenas o(s) seguinte(s) mecanismo(s):

- a) condução
- b) convecção



- c) radiação
- d) condução e convecção
- e) radiação e condução.

Comentário:

"Tranquilíssima", certo? Coruja, conforme vimos o mecanismo de transferência de calor que **não** precisa de **meio** para propagação de energia (calor) é a **radiação**! Esse fenômeno ocorre porque a energia é transportada por meio de luz cuja natureza é de **ondas eletromagnéticas**, possuindo diferentes **comprimentos de onda** e **frequências** de oscilação, impactando na radiação monocromática.

Gabarito: "c".

18. (Cesgranrio/Innova S.A. - Engenheiro de Equipamentos Júnior - Mecânica - 2012)

Calor é transferido de uma parede para uma corrente de ar. Sabe-se que o processo ocorre em regime permanente, que o fluxo de calor envolvido é de 80 W/m², e que a corrente está a 21 °C.

Considerando que o coeficiente de transmissão convectiva de calor é de 10 W/(m² .K), tem-se para a temperatura da superfície da parede, em °C,

- a) 23
- b) 25
- c) 27
- d) 29
- e) 32

Comentário:

Coruja, tranquilidade! Mais um questão (veremos que temos várias desse tipo) que é pura **aplicação de fórmula** somada a uma compreensão **simples** da situação exposta. Por isso, é importante você imaginar a situação, **desenhá-la** (sempre) e começar a calcular. Vejamos, temos a nossa fórmula que ilustra o fluxo de calor convectivo:

$$q_{cv} = h \cdot A \cdot \Delta T$$

Na qual, temos:

- **q_{cv}**: taxa de transferência de calor por convecção, em **W**;
- **h**: coeficiente de transferência de calor por convecção, em **W/m².K**;



- **A**: área de transferência de calor, em **m²**;
- **ΔT**: variação de temperatura da superfície (T_s) e do fluido (T_∞), em **K**.

Veja que temos que fazer uma conversão simples, pois temos que a **temperatura do fluido** (T_∞) está em °C. Dessa forma, devemos somar 273, como vimos em aula. Assim, temos:

$$T_{\infty} = 21 + 273 = 294 \text{ K};$$

Oras, tranquilidade, agora, basta aplicarmos os dados do enunciado na fórmula “mágica” que temos acima, atendendo-se que o **fluxo de calor** (Q) foi dando em relação a área (m²) – perceba que o valor de 80 está em W/m². Dessa forma, podemos considerar a unidade de área de 1 m² e cortar ela da nossa equação:

$$q_{cv} = h \cdot A \cdot \Delta T = 80 = 10 \cdot (T_s - 294) = T_s = 302 \text{ K};$$

Perfeito! Assim, nossa T_s (temperatura da superfície), em °C, será de:

$$T_s = 302 - 273 = 29^\circ\text{C};$$

Gabarito: "d".

19. (Cesgranrio/Petrobrás - Engenheiro de Equipamentos Júnior - Mecânica - 2010)

No que se refere ao processo de transferência de calor por convecção, analise as afirmativas a seguir.

I - Apesar de serem corrosivos, metais líquidos são empregados em situações onde se deseja obter altas taxas de transferência de calor, sendo que, no caso de um escoamento laminar em uma placa plana para a situação de convecção forçada, pode-se demonstrar que, para os casos envolvendo números de Prandtl muito baixos, o número de Nusselt local é função da raiz quadrada do número de Peclet.

II - O regime de convecção mista se refere a uma situação na qual tanto os efeitos de convecção livre e convecção forçada são relevantes e, nesse caso, o número de Grashof possui a mesma ordem de grandeza do quadrado do número de Reynolds.

III - Em várias situações de engenharia, deseja-se intensificar a transferência de calor em escoamentos internos, sendo que uma forma de se obter esse efeito é pela inserção de aletas longitudinais na superfície interna do tubo, o que acarreta um aumento da perda de carga.

Está correto o que se afirma em

- a) III, apenas.
- b) I e II, apenas.



- c) I e III, apenas.
- d) II e III, apenas.
- e) I, II e III.

Comentário:

Coruja, tranquilidade! A questão nos cobra apenas as definições de diferentes **números adimensionais** que levam o nome, para cada um, do cientista que descobriu/desenvolveu. Assim, como vimos na parte teórica, é importante você conhecer os principais números, no que tange sua denominação e definição.

No estudo do mecanismo de transferência de calor por **convecção**, tivemos vários cientistas que desenvolveram relações adimensionais importantes. Essa prática de **adimensionalizar** equações, combinando variáveis que geram os agrupamentos de números adimensionais tem como foco a **redução no número total de variáveis**, como aponta a literatura específica¹⁶. Vamos relembra-los:

- **Número de Nusselt:** também chamado de **coeficiente adimensional de transferência de calor por convecção**, foi desenvolvido por Wilhelm Nusselt e, basicamente, vai **relacionar** a **taxa de transferência** por **convecção** com a **taxa de transferência por condução** (lembre-se que a convecção, temos os dois mecanismos). Assim, pela razão, quanto **maior** for o número, **maior** será a eficácia da **convecção**. O valor do número de Nusselt é dado por:

$$Nu = \frac{h \cdot L}{k};$$

No qual, L = espessura da camada de fluido; h = coeficiente convectivo e k = condutividade térmica

- **Número de Prandtl:** tem como objetivo descrever a espessura relativa das camadas limite hidrodinâmica e térmica. O número representa a razão, basicamente, entre a **taxa de difusão molecular viscosa** (quantidade de movimento) pela **taxa de difusão molecular térmica**. Sua importância está em entender essa relação para diferentes materiais, indo de 0,01 (metais líquidos) até 10⁵ (para óleos). Ou seja, em metais líquidos, o calor se difunde muito mais rápido do que em óleos, em relação a quantidade de movimento (relacionada a viscosidade do fluido que, por sua vez, representa a resistência ao escoamento). O valor do número de Prandtl é dado por:

$$Pr = \frac{v}{\alpha} = \frac{\mu \cdot cp}{k};$$

¹⁶ Çengel, Y. A.; Ghajar, A.J.; Kanoglu, M. Transferência de Calor e Massa: Uma Abordagem Prática. 4ª edição. Editora: AMGH Ltda. Porto Alegre, 2012.



No qual, ν = viscosidade cinemática; α = difusividade térmica; μ = viscosidade dinâmica; c_p = calor específico e k = condutividade térmica;

- **Número de Reynolds:** o mais famoso e mais cobrado, representa, como você é estudado na Mecânica dos Fluidos, a razão entre as **forças de inércia** e as **forças viscosas** do fluido. Esse número vai determinar o tipo de escoamento do fluido (turbulento ou laminar). O valor do número de Reynolds é dado por:

$$Re = \frac{V \cdot Lc}{\nu} = \frac{\rho \cdot V \cdot Lc}{\mu};$$

No qual, V = é a velocidade a montante; Lc = comprimento da geometria; ρ = massa específica do fluido;

- **Número de Peclet:** representa a razão entre a **taxa de advecção** e a **taxa de difusão** de determinada grandeza em relação a um gradiente. Pode ser obtido como o produto do número de Reynolds pelo número de Prandtl:

$$Pe = Re \cdot Pr = \frac{V \cdot Lc}{\nu} \times \frac{\nu}{\alpha} = \frac{L \cdot V}{\alpha};$$

- **Número de Grashof:** no âmbito da **convecção natural**, representa a razão entre as **forças** geram o **empuxo** da massa de fluido pelas **forças viscosas** desse fluido. O valor do número de Grashof é dado por:

$$Gr = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_s - T_{\infty}) \cdot Lc^3}{\nu^2};$$

No qual, g = aceleração gravitacional; β = coeficiente de expansão volumétrica; T_s = temperatura da superfície; T_{∞} = temperatura do fluido suficientemente longe da superfície;



Correlação	Equação	Condições
$\delta = 5xRe_x^{-1/2}$	(7.19)	Laminar, T_f
$C_{f,x} = 0,664Re_x^{-1/2}$	(7.20)	Laminar, local, T_f
$Nu_x = 0,332Re_x^{1/2}Pr^{1/3}$	(7.23)	Laminar, local, T_b , $Pr \gtrsim 0,6$
$\delta_t = \delta Pr^{-1/3}$	(7.24)	Laminar, T_f
$\overline{C_{f,x}} = 1,328Re_x^{-1/2}$	(7.29)	Laminar, médio, T_f
$\overline{Nu_x} = 0,664Re_x^{1/2}Pr^{1/3}$	(7.30)	Laminar, médio, T_b , $Pr \gtrsim 0,6$
$Nu_x = 0,565Pe_x^{1/2}$	(7.32)	Laminar, local, T_b , $Pr \lesssim 0,05$, $Pe_x \gtrsim 100$
$C_{f,x} = 0,0592Re_x^{-1/5}$	(7.34)	Turbulento, local, T_b , $Re_x \lesssim 10^8$
$\delta = 0,37Re_x^{-1/5}$	(7.35)	Turbulento, T_b , $Re_x \lesssim 10^8$
$Nu_x = 0,0296Re_x^{4/5}Pr^{1/3}$	(7.36)	Turbulento, local, T_b , $Re_x \lesssim 10^8$, $0,6 \lesssim Pr \lesssim 60$
$\overline{C_{f,L}} = 0,074Re_L^{-1/5} - 1742Re_L^{-1}$	(7.40)	Mista, médio, T_b , $Re_{x,c} \lesssim 5 \times 10^5$, $Re_L \lesssim 10^8$
$\overline{Nu_L} = (0,037Re_L^{4/5} - 871)Pr^{1/3}$	(7.38)	Mista, médio, T_b , $Re_{x,c} \lesssim 5 \times 10^5$, $Re_L \lesssim 10^8$, $0,6 \lesssim Pr \lesssim 60$

Feita essa nossa revisão dos números, vejamos cada assertiva:

I: correta, Coruja! Pode parecer difícil, mas basta você lembrar das relações que expliquei em aula para determinadas condições de escoamento do fluido, velocidade, temperaturas e valores de outros adimensionais. Oras, vimos que na situação descrita (escoamento externo laminar com convecção forçada em uma placa plana) temos o número de Nusselt em função da raiz quadrada do número de Peclet, sendo obtido pela seguinte equação:

$$Nu = 0,568.Pex^{1/2};$$

Como eu falei, Coruja, saber aquelas condições da tabela proveniente da doutrina, é importante! Todavia, esse tipo de questão que cobra situações empíricas de experimentos específicos, são mais raras em prova. Procure memorizar, lendo periodicamente para sua prova, caso você tenha tempo disponível;

II: correto, Coruja! Nessa situação exposta, temos que na convecção natural, o número de Grashof relaciona as forças de empuxo com as forças viscosas (que tem relação com o número de Reynolds).



Sabe-se, empiricamente, que o número de Grashof costuma ser o **quadrado do número de Reynolds**, indicando relações para cada tipo de convecção (forçada ou natural), já que cada número representa um tipo de situação adimensional entre forças e grandezas. Oras, quando o número de Reynolds é elevado, temos uma relação entre Grashof e Reynolds **muito menor** que 1 ($Gr_L/Re_L^2 \ll 1$), indicando que a convecção natural é desprezível (representada pelo adimensional de Grashof). Caso a relação seja muito **maior** que 1, temos um Reynolds muito baixo ($Gr_L/Re_L^2 \gg 1$), e a convecção forçada desprezível. Todavia, quando temos a **convecção mista** (força + natural) temos a relação dos adimensionais proposta próxima de 1, ($Gr_L/Re_L^2 \approx 1$). É isso que a assertiva afirma;

III: perfeita! De fato, conforme se coloca aletas dentro de um tubo, o escoamento torna-se mais difícil, pois ela aumenta a área de contato e servem de obstáculo. Dessa forma, a perda de carga é inerente ao processo. Todavia, tem-se o aumento da transferência de calor, por conta do aumento da área de contato e troca por convecção.

Gabarito: "e".

20. (Cesgranrio/Petrobrás - Engenheiro de Equipamentos Júnior - Mecânica - 2010)

O vapor d'água a alta temperatura e pressão escoar no interior de um tubo circular cuja superfície exterior troca calor com o ar a temperatura ambiente. Empregando as hipóteses do circuito térmico para esse caso, a média aritmética das temperaturas das superfícies interna e externa do tubo é igual à média aritmética das temperaturas do vapor e do ar, se

- a) a espessura do tubo for desprezível.
- b) a condutividade térmica do tubo for elevada.
- c) a taxa de transferência de calor for elevada.
- d) o coeficiente de filme do escoamento interno for maior do que o ar externo.
- e) as resistências térmicas de convecção dos escoamentos interno e externo forem iguais.

Comentário:

Estrategista, tranquilidade! Nesse tipo de questão, você precisa imaginar a situação descrita pelo enunciado e aí começar a aplicar os conceitos que aprendemos.

Perceba que temos um **tubo** (seção circular) com vapor a uma temperatura elevada que troca calor (transfere) com o ambiente externo à parede do tubo (condução e convecção interna e externa). Matou? Oras, temos a situação como um problema que podemos usar da **resistência equivalente** de cada etapa (convecção interna do vapor com a superfície interna - condução pela parede - convecção externa com o ar ambiente).





Perceba que o fluxo de calor vai do interior com a temperatura do vapor trocando com a temperatura da superfície interna do tubo, depois pela condução na parede com a temperatura externa e, mais uma vez, convecção com a temperatura do ar.

Dito isso, o enunciado quer saber qual a **condição** para que a **média aritmética das temperaturas das superfícies interna e externa** do tubo seja **igual à média aritmética das temperaturas do vapor e do ar**. Logo, o problema quer que de alguma forma, a gente chegue a essa conclusão, traduzida em equação:

$$\frac{(T_{\text{sexterna}} + T_{\text{sinterna}})}{2} = \frac{(T_{\text{ar}} + T_{\text{vapor}})}{2}$$

Que, cortando o "2" de cada média, é a mesma coisa que escrever, matematicamente, a seguinte relação:

$$(T_{\text{sexterna}} + T_{\text{sinterna}}) = (T_{\text{ar}} + T_{\text{vapor}})$$

Agora, ficou simples. Temos que entender qual a condição (descrita nas alternativas) para chegar a essa relação da equação acima. Vamos lá.

Coruja, sabemos que o fluxo (Q) de calor em cada etapa será o mesmo, logo:

$$Q_{\text{ar}} = Q_{\text{vapor}} = Q_{\text{condução}};$$

Utilizaremos a primeira igualdade, já que ele quer saber as médias das temperaturas nas duas etapas convectivas que temos na situação. Assim, temos:

$$Q_{\text{ar}} = Q_{\text{vapor}} = h_{\text{ar}} \cdot (T_{\text{ar}} - T_{\text{sexterna}}) = h_{\text{vapor}} \cdot A \cdot (T_{\text{sinterna}} - T_{\text{vapor}})$$

Oras, vimos na figura acima cada resistência, podemos substituir nas equações:

$$R_{\text{ar}} \cdot (T_{\text{ar}} - T_{\text{sexterna}}) = R_{\text{vapor}} \cdot (T_{\text{sinterna}} - T_{\text{vapor}})$$

Opa, perceba pela alternativa "e" que ela nos diz que as **resistências térmicas de convecção devem ser iguais**. Vamos testar. Podemos cortar cada resistência e chegar na seguinte nova relação:

$$(T_{\text{ar}} - T_{\text{sexterna}}) = (T_{\text{sinterna}} - T_{\text{vapor}})$$



Questão "morta", Estrategista! rs. Veja que é só reorganizar cada temperatura de lado para obtermos a seguinte expressão:

$$(T_{\text{sexterna}} + T_{\text{sinterna}}) = (T_{\text{ar}} + T_{\text{vapor}})$$

De fato, a condição para que a proposta do enunciado seja estabelecida é ter resistências convectivas iguais.

Gabarito: "e".

21. (Cesgranrio/Petrobrás - Engenheiro de Equipamentos Júnior - Mecânica - 2010)

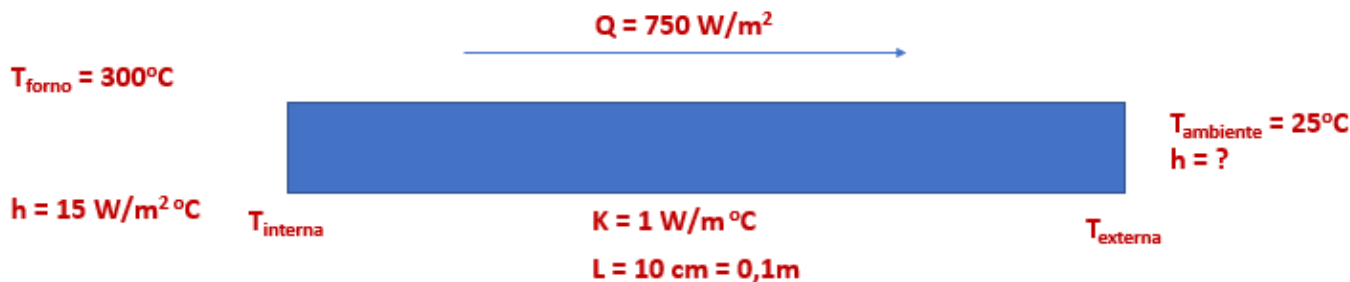
A parede de um forno industrial de 10 cm de espessura apresenta uma condutividade térmica igual a 1 W/m °C, e o seu exterior troca calor, por convecção, com o ar externo a uma temperatura de 25 °C. No interior desse forno, os produtos de combustão encontram-se a 300 °C, e o coeficiente de troca de calor por convecção é 15 W/m²°C. Supondo que a taxa de transferência de calor, na parede, é 750 W/m², o coeficiente de filme do ar externo, em W/m² °C, e a temperatura da superfície interna do forno, em °C, valem respectivamente,

- a) 5 e 250
- b) 2,0 e 250
- c) 0,5 e 300
- d) 0,2 e 270
- e) 0,1 e 280.

Comentário:

Novamente, um problema tranquilo que nos traz uma análise de fluxo de calor aplicada a uma situação simples e corriqueira em prova. De novo, temos um forno com ar a temperaturas elevadas internas que troca calor com a parede por convecção. Depois, o calor passa por condução pela parede e a temperatura externa do forno troca por convecção calor com o ambiente externo. A situação esquemática é a seguinte:





Oras, como sabemos o fluxo é **mesmo** entre as etapas do processo. Assim, podemos aplicar as fórmulas (resfriamento de newton - convecção) para encontrarmos a T_{interna} . Depois, aplicamos a lei de fourier para encontrar a T_{externa} . Por fim, encontramos o nosso coeficiente convectivo do ambiente. Vamos lá?

$$Q = h \cdot (T_{\text{forno}} - T_{\text{interna}}) = 750 = 15 \cdot (300 - T_{\text{interna}}) = T_{\text{interna}} = 250^\circ\text{C};$$

$$Q = k \cdot \frac{(T_{\text{interna}} - T_{\text{externa}})}{L} = 750 = 1 \cdot \frac{(250 - T_{\text{externa}})}{0,1} = T_{\text{externa}} = 175^\circ\text{C};$$

Agora, aplicando novamente a equação da convecção, achamos o nosso coeficiente de convecção do filme externo:

$$Q = h_{\text{externo}} \cdot (T_{\text{externa}} - T_{\text{ambiente}}) = 750 = h_{\text{externo}} \cdot (175 - 25) = h_{\text{externo}} = 5 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

Gabarito: "a".

22. (Cesgranrio/REFAP - Engenheiro de Equipamentos Júnior - Mecânica - 2007)

O lado interno de uma parede encontra-se a 25°C enquanto que o seu lado externo está submetido a uma interação com o ar ambiente cujos valores de coeficiente de filme e temperatura valem, respectivamente, $10 \text{ W/m}^2\text{°C}$ e 35°C . Sabe-se também que o fluxo de calor que atravessa a parede é de 50 W/m^2 e que sua condutividade térmica é igual a $0,7 \text{ W/m}^\circ\text{C}$.

Assim, a espessura da parede, em cm, é igual a:

- a) 0,1
- b) 0,2
- c) 1
- d) 2
- e) 7.



Comentário:

Tranquilidade, Coruja! Veja que esse tipo de questão, envolvendo as várias etapas com diferentes processos entre um ambiente, com uma parede e outro ambiente é recorrente! Novamente, temos que entender o enunciado! Temos um ambiente interno (não sabemos qual a temperatura dele e nem nos interessa para o problema) e uma parede cuja temperatura da superfície interna é 25°C ($T_i = 25^\circ\text{C}$) e espessura $X = ?$ cm (queremos saber). Essa parede separa esse ambiente de um ambiente externo a uma temperatura de 35°C ($T_e = 35^\circ\text{C}$). Oras, óbvio que teremos um fluxo de calor ($Q = 50 \text{ W/m}^2$ - já fornecido por unidade de área) desse ambiente externo (maior temperatura) para o ambiente interno (menor temperatura).

Coisa linda! Temos nesse sentido de fluxo: **convecção** (do ambiente externo para a superfície externa da parede) - **condução** (através da parede) - **convecção** (da superfície interna da parede para o ambiente interno).

Oras, primeiramente, precisamos encontrar a temperatura da superfície externa da parede (T_{se}). Aqui, temos a convecção do fluido do ambiente externo que perde calor para a superfície externa da parede. Assim, temos, pela fórmula da "lei" de resfriamento de Newton:

$$Q = h_{\text{externo}}.(T_{\infty} - T_{se});$$

$$50 = 10.(35 - T_{se}) = T_{se} = 30^\circ\text{C};$$

Lindo! Com esse valor, basta aplicarmos a fórmula de Fourier para a **condução** e encontrarmos a espessura dessa parede:

$$Q = -k.\frac{(T_i - T_{se})}{L} = 50 = -0,7.\frac{(25 - 30)}{L} = L = 0,07 \text{ m} = 7 \text{ cm};$$

Gabarito: "e".

23. (Cesgranrio/Petrobrás - Engenheiro de Equipamentos Júnior - Mecânica - 2006)

Em relação ao processo de troca de calor através de radiação, afirma-se que:

I - segundo a Lei do Deslocamento de Wien, o comprimento de onda que torna máximo o poder emissivo monocromático é diretamente proporcional à temperatura;

II - o fator de forma de radiação é uma grandeza adimensional;

III - uma superfície cinza emite menos energia radiante do que uma superfície negra;



IV - a troca de calor radiante entre duas superfícies negras é função apenas das temperaturas de cada superfície.

Estão corretas apenas as afirmações::

- a) I e II
- b) I e III
- c) I e IV
- d) II e III
- e) II e IV

Comentário:

Tranquilidade, Coruja! Questãozinha boa para treinarmos alguns aspectos qualitativos e conceituais sobre o mecanismo da **Radiação**! Vamos lá?

I: errada! Conforme vimos em aula, Coruja, a **Lei do Deslocamento de Wien** nos diz que o comprimento de onda que vai tornar **máximo o poder emissivo monocromático** de um corpo é **inversamente proporcional** a ele e não **proporcional**. Na realidade, o **pode emissivo monocromático** é **proporcional à frequência da onda de radiação**;

II: perfeita! O **fator de forma** consiste na relação (fração) entre a **radiação** que é distribuída difusamente por um valor de área determinada e que irradia outra área de outro corpo. Como é uma relação (fração) entre grandezas de mesma unidade, temos o cancelamento das unidades o que torna esse fator **adimensional**;

III: "correctomundo"! Certinha, Coruja! Vimos que o **corpo negro** é um corpo **ideal**, sendo um absorvedor e emissor de radiação ideal (toda energia possível de ser emitida e/ou absorvida será). Além disso, o corpo negro **não depende** da **direção** de emissão das ondas eletromagnéticas da radiação. Diferentemente do **corpo cinza**, temos que a radiação refletida ou absorvida é uma fração do potencial de radiação, sendo expressada pelo **índice de emissividade** que varia de 0 a 1. Por isso, de fato, um **corpo cinza** irá emitir menos energia (calor) por radiação que um **corpo negro**;

IV: errada! Além da temperatura, os corpos negros também são influenciados pelo **comprimento de onda** (principalmente) e pelo **Fator Forma**, sendo cada superfície geométrica de cada corpo potencializadora ou inibidora da transferência de energia (calor) por radiação. O único fator que não influencia na emissão e/ou absorção de radiação do corpo negro é a **direção** da emissão, como vimos.

Gaba rito: "d".



24. (Cesgranrio/Petrobrás - Engenheiro de Equipamentos Júnior - Mecânica - 2006)

Uma parede de 5 cm de espessura tem uma temperatura de 60°C em uma extremidade, enquanto que o outro lado troca calor por convecção com um meio externo cuja temperatura vale 30°C. Admitindo que a condutividade térmica da parede é igual a $0,1 \frac{W}{m \cdot ^\circ C}$ e que a taxa de transferência de calor na parede vale $30 \frac{W}{m^2}$, o coeficiente de troca de calor por convecção, em $\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$, do meio externo é:

- a) 20
- b) 2
- c) 0,75
- d) 0,5
- e) 0,1

Comentário:

Novamente, mesma lógica de questão que já vimos. Temos uma parede de espessura de 5 cm com uma superfície a 60°C. Do outro lado da parede, temos um ambiente com fluido a 30°C que irá trocar calor com a superfície dessa parede. Dessa forma, o problema nos cobra qual o coeficiente convectivo de troca com o ambiente externo. Para encontrá-lo aplicaremos a fórmula da "lei" de resfriamento de Newton que envolve o mecanismo de transferência por convecção:

$$Q = h \cdot (T_{se} - T_{\infty});$$

Assim, precisamos encontrar a temperatura na superfície externa (T_{se}) da parede. Oras, como temos a condutividade térmica $k = 0,1 \text{ W/m} \cdot ^\circ C$, a espessura $L = 0,05 \text{ m}$ e a temperatura da superfície interna da parede $T_{si} = 60^\circ C$, fica fácil:

$$Q = k \cdot \frac{(60 - T_{se})}{0,05} = 30 = 0,1 \cdot \frac{(60 - T_{se})}{0,05} = T_{se} = 45^\circ C;$$

Lindo! Agora, ficou fácil encontrar o coeficiente convectivo:

$$Q = h \cdot (T_{se} - T_{\infty}) = 30 = h \cdot (45 - 30) = h = 15 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ C;$$

Gabarito: "b".

25. Cesgranrio/Petrobrás - Engenheiro de Equipamentos Júnior - Mecânica - 2006)

Uma parede plana, cuja condutividade térmica é constante, apresenta uma distribuição de temperatura do tipo $T(x) = a - bx^2$, onde a e b são constantes conhecidas. A esse respeito, é correto afirmar que:



- a) a e b têm dimensão de temperatura.
- b) o fluxo de calor por condução é invariante com a posição x.
- c) o processo de condução se dá em regime transiente.
- d) a parede apresenta, em seu interior, uma taxa de geração de calor constante.
- e) pode ser utilizado o conceito de resistência térmica neste problema.

Comentário:

Questãozinha diferente, né, Estrategista? Vamos analisar cada alternativa sobre a situação proposta pelo enunciado. Perceba que a distribuição de temperatura segue uma equação de 2º grau, logo não teremos uma distribuição linear.

Letra "a": negativo, Coruja! Basta analisar a equação que você percebe que até "a" pode ter a dimensão de temperatura, mas "b" não terá, pois caso isolássemos a variável b, perceba que ela será também em função de unidades de comprimento (metros) provavelmente, para "x";

Letra "b": errada, também! Oras, sabemos que o fluxo de calor vai variar conforme se aumenta a espessura (valor de x) para a função quadrática proposta. Basta analisar a fórmula, pois a temperatura vai decair em função da espessura não linearmente (função quadrática);

Letra "c": equivocada, pois no regime transiente (diferente do regime estacionário) a temperatura vai variar em função da espessura, mas, também, em função do **tempo**! Pereba pela função dada no enunciado que não temos o fator tempo relacionado;

Letra "d": certo, Coruja! Essa é uma alternativa que foge um pouco da maioria da cobrança, pois questiona sobre a geração de calor por condução na distribuição de temperatura. Para essa situação, temos a seguinte expressão:

$$\frac{d^2T}{dx^2} + \frac{\dot{q}g}{k} = 0;$$

Oras, vamos analisar a equação acima. Temos uma função de segundo grau, no qual a derivada da temperatura em relação a x (a segunda) gera uma constante. Oras, essa constante somada com a fração da taxa de geração de calor dividida pela condutividade térmica tem que dar "0". Dessa forma, a fração também é uma constante. Como nessa fração temos a condutividade térmica que também uma constante (inerente ao material), a taxa de geração de calor que é dividida por ela também é.

Letra "e": errado! Não pode. Vimos que a analogia com sistemas elétricos e cálculo por meio de resistências térmicas é aplicado ao regime permanente (regime estacionário). Oras, vimos que a temperatura varia com o fluxo de calor de forma não linear.



Gabarito: "d".

26. Cesgranrio/UNIRIO - Engenheiro - Mecânica - 2016)

O fator de forma de uma superfície plana para ela mesma é:

- a) 0
- b) 0,5
- c) 1
- d) 10
- e) infinito.

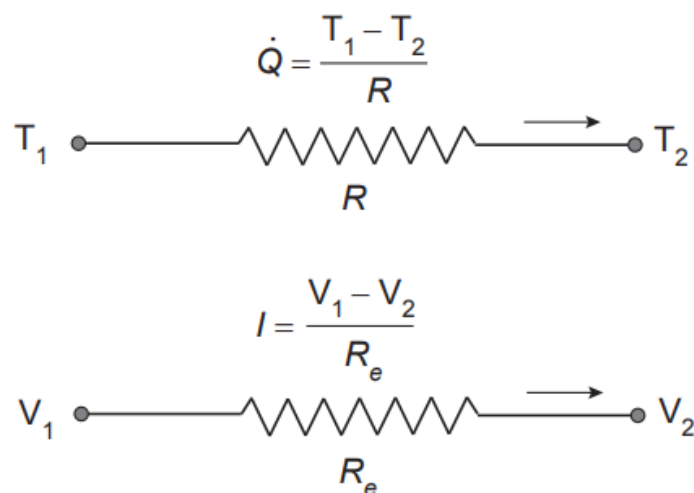
Comentário:

Tranquilo, Coruja! Lembre-se que o **Fator de Forma** para superfícies **planas** e **convexas** é igual a 0 e para **côncavas** é diferente de 0! Isso ocorre pela admissão de que os feixes de luz viajam em linha quando não submetidos a interferências de forças eletromagnética.

Gabarito: "a".

27. Cesgranrio/Liquigás - Engenheiro Júnior - Mecânica - 2015)

Muitos problemas de transferência de calor são resolvidos utilizando-se uma analogia entre os conceitos de resistência térmica (R) e de resistência elétrica (R_e), conforme ilustrado na Figura abaixo.



Considere a condução unidimensional de calor, em regime permanente, através de uma parede plana de espessura L , área A e condutividade térmica k .

Nessas condições, a resistência térmica da parede contra a condução de calor, ou simplesmente a resistência de condução da parede (R), é dada por

- a) $L \cdot k \cdot A$
- b) $\frac{k \cdot A^2}{L}$
- c) $\frac{L}{k \cdot A}$
- d) $\frac{A}{L \cdot k}$
- e) $\frac{k}{A \cdot L}$

Comentário:

Oras, questãozinha bem tranquila! Vimos que a **resistência térmica** (analogia com os sistemas elétricos) do mecanismo de **condução** provém da Lei de Fourier e é dada por:

$$R = \frac{L}{k \cdot A}$$

Gabarito: "c".

28. Cesgranrio/Liquigás - Engenheiro Júnior - Mecânica - 2015)

A taxa de transferência de calor por convecção é proporcional à diferença de temperatura e é expressa pela lei de Newton do resfriamento, onde h é o coeficiente de transferência de calor por convecção. Considere três valores típicos de h para as seguintes situações:

$h_1 \rightarrow$ convecção natural de gases;

$h_2 \rightarrow$ convecção forçada de gases;

$h_3 \rightarrow$ condensação de gases.

Nessas condições, tem-se que:

- a) $h_1 < h_2 < h_3$
- b) $h_1 < h_3 < h_2$



- c) $h_2 < h_1 < h_3$
- d) $h_2 < h_3 < h_1$
- e) $h_3 < h_1 < h_2$.

Comentário:

Oras, Coruja, vimos em aula que o mecanismo da **convecção** é aquele que depende da variação de temperatura e que tem como natureza o movimento macroscópico da massa de fluido que se desloca e entra em contato com uma superfície de troca (seja outro fluido igual, seja outro diferente, sólido, líquido ou gasoso). Além disso, sabemos que nesse mecanismo, temos a transferência de energia por **difusão** no movimento molecular - movimento microscópico que ocorre no material, no caso, o fluido que se desloca.

Dito isso, sabemos que a **convecção natural**, não é potencializada, tendo seu movimento macroscópico realizado por **diferença de pressão** (densidade pautada na temperatura das regiões das massas de fluido) e alguma força externa, como o vento do ambiente, por exemplo. Por isso, nesse caso, o coeficiente de convecção (h_1) é o menor das três situações.

Na **convecção forçada**, há a ação de uma força externa considerável (um ventilador, por exemplo), que intensifica o movimento macroscópico e promove ainda mais a **advecção** do mecanismo. Dessa forma, temos um coeficiente de convecção (h_2) maior que h_1 .

Por outro lado, vimos que a convecção também é proporcional a diferença de **temperatura** entre a massa de fluido e a superfície de contato (com outra região de outro fluido, por exemplo). Assim, na **condensação** que é caracterizada por uma mudança de fase do fluido, temos a transferência de calor pelo mecanismo da **convecção** (escoamento do condensado - fluido - para o fundo de um recipiente, por exemplo, que seria o movimento macroscópico dele). Por conta do calor latente de vaporização elevado, Coruja, são geradas grandes quantidade de calor transferido. Esse fator está associado a **temperatura da superfície** (de um condensador, por exemplo) que é **menor** que a **temperatura de saturação** do fluido (temperatura que determina o limite entre os estados líquido e gasoso do fluido, em determinada pressão). Assim, como a diferença de temperatura normalmente é alta, implica em um coeficiente de convecção maior ainda do que o fluido em uma fase só (convecção natural e forçada) - $h_3 > h_2 > h_1$.

Gabarito: "a".

29. Cesgranrio/Petrobrás - Profissional Júnior - Engenharia Mecânica - 2014)

O regime de escoamento na convecção natural é regido pelo adimensional conhecido como número de Grashof.

Tal adimensional é uma medida da importância relativa da(s):



- a) transferência de calor por convecção e da transferência de calor por condução.
- b) transferência de calor por advecção e da transferência de calor por condução.
- c) forças de inércia e das forças viscosas agindo sobre o fluido.
- d) forças gravitacionais e das tensões superficiais agindo sobre o fluido.
- e) forças de empuxo e das forças viscosas oponentes agindo sobre o fluido.

Comentário:

Moleza, hein, Estrategista? Questão conceitual que nos cobra de maneira direta a definição do **adimensional** denominado **Número de Grashof**, em homenagem ao cientista que descobriu. Vimos que ele tem relação com a **convecção natural** e é definido da seguinte forma:

- **Número de Grashof**: no âmbito da **convecção natural**, representa a razão entre as **forças** que geram o **empuxo** da massa de fluido pelas **forças viscosas** desse fluido. O valor do número de Grashof é dado por:

$$Gr = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_s - T_\infty) \cdot L_c^3}{\nu^2};$$

No qual, g = aceleração gravitacional; β = coeficiente de expansão volumétrica; T_s = temperatura da superfície; T_∞ = temperatura do fluido suficientemente longe da superfície;

Gabarito: "e".

30. Cesgranrio/UNIRIO - Engenheiro - Mecânica - 2016)

Em um determinado problema de engenharia, ficou caracterizado, por meio de um adimensional, um aumento da transferência de calor, através de uma camada de fluido, como resultado da convecção em relação à condução do mesmo fluido em toda a camada.

Tal adimensional corresponde ao número de

- a) Reynolds
- b) Prandtl
- c) Grashof
- d) Rayleigh
- e) Nusselt.

Comentário:



Legal, Coruja! Mais uma que nos cobra a definição conceitual dos adimensionais que vimos! "Bora" relembrá-los?

- **Número de Nusselt:** também chamado de **coeficiente adimensional de transferência de calor por convecção**, foi desenvolvido por Wilhelm Nusselt e, basicamente, vai **relacionar** a **taxa de transferência** por **convecção** com a **taxa de transferência por condução** (lembre-se que a convecção, temos os dois mecanismos). Assim, pela razão, quanto **maior** for o número, **maior** será a eficácia da **convecção**. O valor do número de Nusselt é dado por:

$$Nu = \frac{h \cdot L}{k};$$

No qual, L = espessura da camada de fluido; h = coeficiente convectivo e k = condutividade térmica

- **Número de Prandtl:** tem como objetivo descrever a espessura relativa das camadas limite hidrodinâmica e térmica. O número representa a razão, basicamente, entre a **taxa de difusão molecular viscosa** (quantidade de movimento) pela **taxa de difusão molecular térmica**. Sua importância está em entender essa relação para diferentes materiais, indo de 0,01 (metais líquidos) até 10^5 (para óleos). Ou seja, em metais líquidos, o calor se difunde muito mais rápido do que em óleos, em relação a quantidade de movimento (relacionada a viscosidade do fluido que, por sua vez, representa a resistência ao escoamento). O valor do número de Prandtl é dado por:

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} = \frac{\mu \cdot cp}{k};$$

No qual, ν = viscosidade cinemática; α = difusividade térmica; μ = viscosidade dinâmica; cp = calor específico e k = condutividade térmica;

- **Número de Reynolds:** o mais famoso e mais cobrado, representa, como você é estudado na Mecânica dos Fluidos, a razão entre as **forças de inércia** e as **forças viscosas** do fluido. Esse número vai determinar o tipo de escoamento do fluido (turbulento ou laminar). O valor do número de Reynolds é dado por:

$$Re = \frac{V \cdot Lc}{\nu} = \frac{\rho \cdot V \cdot Lc}{\mu};$$

No qual, V = é a velocidade a montante; Lc = comprimento da geometria; ρ = massa específica do fluido;

- **Número de Peclet:** representa a razão entre a **taxa de advecção** e a **taxa de difusão** de determinada grandeza em relação a um gradiente. Pode ser obtido como o produto do número de Reynolds pelo número de Prandtl:



$$Pe = Re.Pr = \frac{V.Lc}{\nu} \times \frac{\nu}{\alpha} = \frac{L.V}{\alpha};$$

- **Número de Grashof:** no âmbito da **convecção natural**, representa a razão entre as **forças** que geram o **empuxo** da massa de fluido pelas **forças viscosas** desse fluido. O valor do número de Grashof é dado por:

$$Gr = \frac{g.\beta.(T_s - T_{\infty}).Lc^3}{\nu^2};$$

No qual, g = aceleração gravitacional; β = coeficiente de expansão volumétrica; Ts = temperatura da superfície; T∞ = temperatura do fluido suficientemente longe da superfície;

Gabarito: "e".

31. (Cesgranrio/Petrobrás - Profissional Júnior - Engenharia - Química - 2011)

O calor pode ser transmitido de diversas formas. Basicamente, os processos de transmissão de calor são:

- a) condução, convecção e dilatação
- b) condução, dilatação e resistência de depósito
- c) radiação, convecção e condução
- d) irradiação, condução e convecção
- e) resistência de depósito, dilatação e irradiação.

Comentário:

"Tranquilinha", né, Coruja? Oras, os três mecanismos (processos) de **transmissão de calor**, conforme vimos, são: **condução, convecção e radiação!** Atente-se que **irradiação** não é exatamente a denominação do processo de transferência de calor! Como a literatura específica¹⁷ define, **a irradiação é a taxa na qual a energia de radiação** (de determinado comprimento de onda) **incide sobre uma superfície por unidade de área**. Veja que essa questão cobrou a diferença na definição dos termos! Por isso, atenção!

Gabarito: "c".

¹⁷ INCROPERA, F.P.; DEWITT, D. O.; BERGMAN, T. L.; LAVINE, A.S. Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa. Editora: LTC. Rio de Janeiro, 4ª edição, 2008.



32. (Cesgranrio/SFE - Engenheiro de Termoeletrica - Mecânica - 2009)

Que modo de transferência de calor abrange a transferência de energia em virtude do movimento molecular aleatório (difusão) e a transferência de energia através do movimento global ou macroscópico de um fluido?

- a) Condução.
- b) Convecção.
- c) Condensação.
- d) Radiação.
- e) Sublimação.

Comentário:

Oras, Coruja! Definição claro do nosso mecanismo denominado de **convecção**! Veja que, como vimos em aula, na **convecção** temos a transferência de calor tanto por **condução** (pela movimento aleatório das moléculas do fluido - movimento **microscópico**) quando pelo movimento **macroscópico** (chamado de **advecção** - lembra?) dessa massa de fluido com a sua vizinhança (superfície ou outro fluido).

Gabarito: "b".

33. (Cesgranrio/Transpetro - Técnico(a) de Inspeção de Equipamentos e Instalações Júnior - 2018)

Duas correntes líquidas escoam em lados opostos de uma placa de aço. Uma das correntes consiste em água a 90°C e, a outra, em água a 20°C. Os principais mecanismos de transferência de calor que ocorrem nas correntes líquidas e no aço são

- a) condução nas correntes líquidas e radiação na placa de aço
- b) condução nas correntes líquidas e convecção na placa de aço
- c) radiação nas correntes líquidas e condução na placa de aço
- d) convecção nas correntes líquidas e radiação na placa de aço
- e) convecção nas correntes líquidas e condução na placa de aço.

Comentário:

Questão bem tranquila, Estrategista! Ela comente nos cobra as definições dos mecanismos que vimos em aula com o cenário descrito da transferência de calor. Oras, as duas correntes líquidas (fluido) irão transferir calor coma superfície da placa de aço por **convecção** (lembre-se que ela é o mecanismo de



transferência entre uma massa macroscópica de fluido com uma superfície de contato ou sua vizinhança que engloba, também, a condução entre as moléculas pelo seu movimento microscópico).

Além disso, temos que no **aço** da placa, internamente pela sua espessura, o mecanismo que será responsável pela transferência de calor é o de **condução**! Lembre-se que nesse mecanismo temos a energia (calor) sendo transferida a nível molecular, através do meio, pela agitação dos átomos que compõe as moléculas desse material.

Gabarito: "e".

34. (Cesgranrio/Transpetro - Técnico(a) de Inspeção de Equipamentos e Instalações Júnior - 2018)

Em um equipamento, um sensor de ouro com massa 10 g é aquecido de 30 para 180°C. A quantidade de calor, em J, fornecida ao sensor para esse aquecimento é igual a

Dado
calor específico do ouro: $130 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$

- a) $3,90 \cdot 10^4$.
- b) $2,34 \cdot 10^5$.
- c) $2,34 \cdot 10^2$.
- d) $1,95 \cdot 10^5$.
- e) $1,95 \cdot 10^2$.

Comentário:

Questão tranquila, Coruja, que nos cobra mais o conceito de **calorimetria** e **dilatação térmica** do que os mecanismos de **transferência de calor** e suas equações. Oras, sabemos que o calor é energia em movimento e a calorimetria visa **medir** (está no nome) o quanto de calor é transferido entre corpos.

Assim, para a questão acima utilizaremos a nossa famosa fórmula do **calor sensível** (sentido, sensível ao corpo que recebe essa energia, pegou o "bizu"?), denominada de **"quêmacete"**:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T;$$

Onde:

- Q: quantidade de calor sensível, em (J ou cal);
- m: massa do corpo, em (kg ou g)



- c: calor específico, em (J/kg.ºC ou cal/g.ºC)
- ΔT : variação de temperatura, em (ºC)

Oras, a única conversão de unidade que precisamos fazer, Coruja, é multiplicar a massa (em grama - g) por 1000 para acharmos ela em kilograma (kg). Depois, substituir e correr para o "abraço":

$$Q = m.c.\Delta T = 0,01 \cdot 130 \cdot (180 - 30) = 195 \text{ J ou } 1,95.10^2 \text{ J};$$

Gabarito: "e".

35. (Cesgranrio/Transpetro - Técnico(a) de Inspeção de Equipamentos e Instalações Júnior - 2018)

De acordo com a Lei do resfriamento de Newton para a convecção, a taxa de transferência de calor é expressa por

$$Q = h A (T_s - T_\infty)$$

onde o coeficiente convectivo, h, é expresso, no SI, em:

- a) J/m² ºC
- b) J/cm² ºC
- c) W/m² K
- d) W/m K
- e) W/m² ºC.

Comentário:

Que "questãozinha supimpa" de fácil, hein, Coruja? Oras bolas (nossa, essa deu até nojo, né? rs), ela nos cobra somente nosso conhecimento de unidades no sistema internacional, certo? Sabemos que **Joule** e o **Watt** estão relacionados, já que 1 W = 1 J/s. Oras, no S.I., o coeficiente de convecção é dado em **W/m².K**. Sempre, lembre-se: a temperatura no S.I. é em **Kelvin!** Além disso, temos a **área A** na fórmula, indicando que temos toda a área da superfície de contato com o fluido que troca calor! Veja que se você não se lembrasse, era só trabalhar com a fórmula fornecida! Isola o "h" e veja que a área (m²) e a temperatura (K) necessariamente vão dividir a taxa de calor transmitida (Q) em **W**.

Gabarito: "c".

36. (Cesgranrio/Transpetro - Técnico(a) de Inspeção de Equipamentos e Instalações Júnior - 2011)





A figura acima ilustra duas barras de mesmo comprimento, coladas uma na outra. A barra superior é feita de cobre, enquanto a inferior é de chumbo.

Dados:

Coeficiente de dilatação linear do cobre: $\alpha_{Cu} = 1,6 \times 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$;

Coeficiente de dilatação linear do chumbo: $\alpha_{Pb} = 2,9 \times 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$;

Fornecendo-se calor para o sistema e levando-se em conta que as duas barras permanecem unidas, ao final do processo, as duas barras devem

- a) se curvar para cima, devido à dilatação maior do que a do cobre.
- b) se curvar para cima, devido à dilatação do chumbo ser menor do que a do cobre.
- c) se curvar para baixo, devido à dilatação do chumbo ser menor do que a do cobre.
- d) se curvar para baixo, devido à dilatação do chumbo ser maior do que a do cobre.
- e) permanecer retílineas, devido à dilatação do chumbo ser igual à do cobre.

Comentário:

Que questãozinha, "moleza", hein? Oras, Coruja, veja que o único padrão que devemos analisar é o **coeficiente de dilatação linear** de cada material fornecidos para matarmos a questão. Perceba que as duas barras estão **unidas** e que possuem a **mesma dimensão inicial** e sofrem com a mesma **variação térmica**.

Assim, temos que olhar atentamente somente para os coeficientes propostos. Veja que o **chumbo** possui **maior** coeficiente. Sendo assim, para uma mesma variação de temperatura, temos que ele irá **expandir mais** que o cobre, já que a expressão de primeiro grau é dada por:

$$\Delta l = \alpha \times l_0 \times \Delta T;$$

Onde:

- **Δl** : variação no comprimento da barra, em **(m)**;
- **α** : coeficiente de dilatação linear, em **($^{\circ}\text{C}^{-1}$ ou K^{-1})**;
- **l_0** : comprimento inicial da barra, em **(m)**;
- **ΔT** : variação de temperatura, em **($^{\circ}\text{C}$) ou (K)**.



Perceba que, como as barras estão **unidas**, e a de **chumbo** irá se dilatar **mais** do que a barra em **cobre**, temos que as duas barras formarão uma **curva para cima**! Claro! A de cima (cobre) não consegue acompanhar o crescimento da barra de baixo (chumbo)!

Gabarito: "a".

37. (Cesgranrio/Liquigás - Técnico de Instalações - 2018)

Um inversor de frequência era utilizado para alimentar uma bomba de recalque localizada no subsolo de uma indústria. Após analisar o histórico de manutenção do inversor, a equipe de manutenção notou que tal equipamento apresentava uma durabilidade consistentemente menor que o indicado pelo fabricante. Após estudos, concluiu-se que a menor durabilidade do equipamento se devia à sua operação em um local com temperatura ambiente maior que a nominal. Para contornar tal problema, a equipe de manutenção propôs instalar um sistema de ventilação forçada que aumentasse a circulação de ar no entorno da carcaça do equipamento.

A solução proposta pela equipe de manutenção diminui a temperatura da carcaça porque melhora a troca de calor por

- a) condução
- b) convecção
- c) irradiação
- d) sinterização
- e) sublimação.

Comentário:

Oras, Coruja! Como diz nosso ilustre professor Guilherme Neves: "Tá mais fácil que passar manteiga em beijo de bode! (rs). Falou em um **ventilador soprando (forçando)** temos que o mecanismo que será potencializado (pelo movimento macroscópico do fluido em questão) é a **convecção**!

Gabarito: "a".

38. (Cesgranrio/Liquigás - Técnico de Instalações - 2018)

Um sistema de refrigeração central leva ar resfriado a diversos ambientes de uma edificação através de dutos instalados sobre o forro. Esses dutos são formados por três camadas:

- Camada interna: de pouca espessura, composta de ferro galvanizado, com função apenas de garantir estanqueidade do duto;



- Camada intermediária: de grande espessura, composta de lã de rocha;
- Camada externa: de pouca espessura, composta por folhas de alumínio polido.

Com relação ao isolamento térmico do duto, é função predominante das camadas intermediária e externa, respectivamente, minimizarem as transferências de calor por:

- a) condução e irradiação
- b) convecção e condução
- c) convecção e irradiação
- d) irradiação e condução
- e) irradiação e convecção.

Comentário:

Oras, Coruja! Mais uma bem "tranquila". Veja que na camada **intermediária** teremos a transferência de calor pelo mecanismo de **condução** (transferência através de um **meio** - no caso, grande espessura formada por lã de rocha - pelo movimento vibracional, átomo a átomo, das moléculas do material que transmite a energia cinética entre eles da região de **maior temperatura** para a de **menor temperatura**).

Já matamos a questão, pois é a **condução** que será minimizada (muito pela lã - possui ar entre seus enovelados e o ar possui **condutividade térmica** baixíssima e pela espessura que aumenta a distância unidimensional, sendo uma barreira para a transferência).

Todavia, saiba que para o mecanismo de **radiação** (transferência de calor por ondas eletromagnéticas sem a necessidade de ter um meio para sua propagação) superfícies reflexivas tendem a ter um índice de emissividade e absorção **menor** de radiação. Oras, o **alumínio** das folhas da camada externa foi **polido** - ou seja, está altamente reflexivo! Dessa forma, como a radiação provém da luz (luz possui natureza de onda eletromagnética), parte maior dela é refletida e leva boa parte da energia com ela que é pouco absorvida e, assim, isolando o fluido (massa de ar resfriado) no interior do duto.

Ps: perceba que essa questão tratou a **radiação** (mecanismo) e a **irradiação** (taxa de radiação em uma dada superfície) como sinônimos. ;).

Gabarito: "a".

39. (Cesgranrio/Petrobrás - Técnico de Operações Júnior - 2014)

O coeficiente de transferência de calor por convecção h presente na lei do resfriamento de Newton:

- a) é uma propriedade termodinâmica.



- b) é um parâmetro teórico.
- c) independe das propriedades do fluido envolvido.
- d) independe da geometria da superfície envolvida.
- e) incorpora a natureza do padrão de escoamento próximo à superfície envolvida.

Comentário:

Questão bem conceitual que nos cobra detalhes qualitativos de cada definição. Oras, **o coeficiente de transferência** (h) da **convecção não é uma propriedade termodinâmica**. Vimos na **Termodinâmica** o tempo para cada processo não é considerado e está vinculada ao equilíbrio entre dois estados de um corpo no sistema analisado. O coeficiente em questão, por sua vez, está relacionado às características do **material** e sua **geometria**, por exemplo, impactando no mecanismo de transferência por **convecção** e a sua vizinhança ao redor, sendo estipulado de forma **empírica** por testes em laboratórios para cada material (letras "a" e "b", erradas).

Além disso, é claro que o **valor** do coeficiente é inerente às **propriedades** específicas do **material** que compõe o **fluido** a ser analisado (letra "c", errada) e, obviamente, ele depende da geometria da superfície envolvida já que a **área** faz parte da unidade de medida desse coeficiente, expresso em $W/m^2.K$ (letra "d", errada).

A única correta é a letra "e", pois, de fato, ele incorpora a natureza do padrão de escoamento, dependendo tanto da variação térmica do processo, quanto da área da superfície para o fluxo/taxa de transferência de calor pelo mecanismo de **convecção**.

Gabarito: "e".

40. (Cesgranrio/Innova - Técnico de Manutenção Júnior - 2012)

Um tubo de pequeno diâmetro é recoberto por uma camada de isolante, cuja condutividade térmica é de $0,2 W/(m \cdot ^\circ C)$.

Considerando-se que o coeficiente de transferência convectiva de calor vale $8 W/(m^2 \cdot ^\circ C)$, o raio crítico de isolamento, em cm, é:

- a) 0,4
- b) 1,6
- c) 2,5
- d) 3,2
- e) 4,0.



Comentário:

Questão bem tranquila que nos cobra a aplicação da fórmula do **raio crítico** (ou **raio externo**). Oras, lembre-se, Coruja que, por conta da forma geométrica de um fio (**seção circular**) conforme aumentamos o **raio** temos que o mecanismo de **condução** fica prejudicado, já que temos mais material para a transferência de calor ter que "vencer".

Todavia, por conta do aumento do raio, temos um aumento na superfície externa desse fio (fio, duto, tubo, mesma lógica.. eu aqui falando em "fio" e o problema fala em tubo! Rs. A lógica é a mesma, Coruja!). Voltando... Dessa forma, por meio do aumento da superfície externa (claro, aumentamos o raio) temos uma maior **área de contato** com o fluido externo. Assim, intensifica a transferência por **convecção**.

Nesse sentido, temos um **raio crítico** de isolamento, no qual irá nos mostrar, pela relação entre a **condutividade térmica (k)** e o **coeficiente de convecção (h)** qual o seu valor para garantir o **máximo** valor de **transferência de calor**:

$$re = \frac{k}{h};$$

Onde:

- **k**: é a nossa conhecida **condutividade térmica** (W/m.K) ou (W/m.ºC), representando a transferência por condução;
- **h**: é o nosso conhecido **coeficiente de transferência de calor por convecção** (W/m².K) ou (W/m².ºC), representando a transferência por convecção;
- **re**: o raio externo, representado em metros (m), sendo ele o nosso **raio máximo** que representa a **taxa máxima** de transferência pela maior superfície de contato com o fluido.

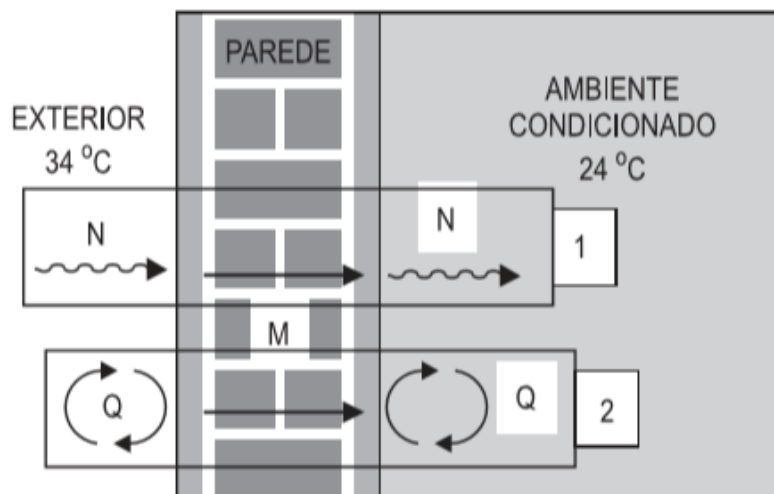
Aplicando os valores, temos:

$$re = \frac{k}{h} = \frac{0,2}{8} = 0,025 \text{ m} = 2,5 \text{ cm};$$

Gabarito: "c".

41. (Cesgranrio/Petrobrás - Técnico Perfuração e Poços Júnior - 2012)





Na figura acima, observa-se um processo de transferência de calor, onde se tem um ambiente condicionado com 24 °C, fechado, e um ambiente externo de 34 °C, aberto. Podem ser vistos os processos em destaque, “1” e “2”, que funcionam diferentemente.

Tendo como base a figura, afirma-se que:

- a) o processo “1” é mais eficiente que o “2”.
- b) o processo “1” é composto de convecção-condução-convecção.
- c) o processo “2” é composto de radiação-condução-radiação.
- d) tanto o processo “1” quanto o “2” são responsáveis pela transferência de calor da área fechada para a aberta.
- e) tanto o processo “1” quanto o “2” são responsáveis pela transferência de calor da área aberta para a fechada.

Comentário:

Questão bem tranquila, Coruja, que relaciona o seu conhecimento específico de cada mecanismo de transferência de calor com a interpretação de problema. Veja que temos um ambiente (uma sala, por exemplo) com um ar sendo condicionado (resfriado, nesse caso) com uma temperatura de 21°C, uma parede de tijolos e o ambiente externo com uma temperatura **maior** de 34°C (deve ser verão, na situação, rs). Oras, claro que teremos transferência de calor da região de **maior temperatura** para a região de **menor temperatura**. Só com essa compreensão básica, matávamos o problema, certo? Sabemos que a letra "e" é a correta! Vejamos as demais:

Letra "a": errada! Muito difícil estabelecer qual processo é mais eficiente, já que não temos uma análise **quantitativa**. Além disso, a análise qualitativa é precária - temos nenhuma informação do material da



parede, além de ser "eficiente" admite juízo de valor: é eficiente para quê, exatamente? Definitivamente, alternativa errada;

Letra "b": errada! Aqui tínhamos que ter em mente a mecânica da massa de fluido (no caso, o ar atmosférico) no mecanismo de convecção. O aspecto cíclico que o esquema demonstra, nos mostra a troca por conta de densidade do ar quente e do ar frio que ocorre dentro e fora do ambiente. Assim, o processo 2 é o descrito na alternativa. Já o 1, seria a radiação pela luz proveniente do sol - condução através da parede - radiação emitida pela parede;

Letra "c": errada! Mesma justificativa da alternativa "b";

Letra "d": errada! Conforme expliquei antes, o processo é da área aberta (região de **maior temperatura** para a região de **menor temperatura**).

Gabarito: "e".

42. (Cesgranrio/Petrobrás - Técnico de Logística de Transporte Júnior - Operação - 2012)

Considere as duas situações descritas a seguir.

I - Em um incêndio, os gases superaquecidos sobem, propagando o fogo para pontos mais altos do ambiente.

II - Em um grande incêndio de um prédio, vários outros prédios ao seu redor, mesmo afastados, resultam queimados, secundariamente.

Verifica-se que, em I e II, o fogo propagou-se de um ponto a outro por meio dos mecanismos de propagação do calor denominados, respectivamente,

- a) condução e irradiação
- b) convecção e irradiação
- c) convecção e condução
- d) irradiação e convecção
- e) irradiação e condução.

Comentário:

Olha, aí, Estrategista! Questão bem tranquila, certo? Oras, sabemos que a **convecção** é um mecanismo de **transferência de calor** na qual a energia (calor) é trocada **entre uma superfície e uma massa de fluido em movimento**. Nesse mecanismo, temos tanto a transferência pelo mecanismo da **condução** (pelo troca de energia cinética feita átomo a átomo, molécula a molécula) como pelo movimento macroscópico da



massa de fluido. Agora, ficou fácil, certo? Claramente a situação I é o mecanismo de **convecção**, já que os **gases superaquecidos sobem** (menor densidade) e propagam o fogo para outras regiões.

Outro mecanismo de transferência de calor que vimos é a **radiação**, certo? Nele, a energia (calor) é transferida entre os corpos por meio de **ondas eletromagnéticas** e, por conta disso, **não precisa** de um meio para se propagar (podendo existir no vácuo), diferentemente do demais. Aí, "matamos" a questão, certo? Mesmo os prédios afastados, tivemos a radiação transferindo energia para eles. Apesar do "leve" equívoco conceitual da questão, pois **irradiação** é definida pela doutrina¹⁸, como uma **taxa de radiação** (que é o mecanismo em si) que incide sobre uma **determinada superfície** pela sua **unidade de área**.

Gabarito: "b".

43. (Cesgranrio/Petrobrás - Técnico de Química Júnior - 2011)

Considere as afirmativas a seguir, a respeito dos processos de transferência de calor.

I - Ao serem avaliadas através do tato, o aço e a madeira, mesmo em equilíbrio térmico, parecem estar a temperaturas diferentes, porque esses materiais possuem condutividades térmicas diferentes.

II - As trocas de calor no interior de uma geladeira ocorrem, em sua maioria, por radiação.

III - Na churrasqueira, a convecção é a principal maneira de troca de calor entre o carvão e a carne.

É correto APENAS o que se afirma em,

- a) I
- b) II
- c) III
- d) I e II
- e) II e III.

Comentário:

Mais uma questão que cobra do aluno a interpretação de situações reais, ao passo que exige o conhecimento conceitual dos **mecanismos** (condução, convecção e radiação) que vimos. Vamos lá:

I: corretíssima! De fato, como vimos quando estudamos o mecanismo de **condução**, para cada material temos um valor de **condutividade térmica** diferente. Quanto maior, mais fácil e mais rápida a energia

¹⁸ Incropera, F.P.; Dewitt, D.P.; Bergman, T.L.; Lavine, A.S. Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa. Editora: LTC, Rio de Janeiro, 2008.



(calor) é transferida através do material. Comparando o **aço** (liga metálica) e a **madeira** (composto orgânico), temos um valor elevado do metal para a condutividade térmica, sendo por isso a diferença de sensação mesmo em equilíbrio térmico. Lembra da tabelinha que vimos? Tá um look para visualizar melhor a diferença absurda de valores entre um aço com 1% de teor de carbono e a madeira folhosa:

Material (em diferentes estados - sólido, líquido ou gasoso)	Condutividade Térmica (k) a 300 K $\left(\frac{J}{s.m.K}\right)$ ou $\left(\frac{W}{m.K}\right)$
Cobre	399
Alumínio	237
Aço-carbono com 1% de Carbono	43
Vidro	0,81
Plásticos	0,2 a 0,3
Água	0,6
Etilenoglicol	0,26
Óleo de motor	0,15
Freon em estado líquido	0,07
Hidrogênio	0,18
Ar	0,026
Madeira	0,17

II: erradassa! A troca no interior de uma geladeira ocorre, em sua maioria, pelo mecanismo de **convecção**! Dessa forma, o ar frio proporcionado pelo refrigerador encontra a superfície dos alimentos e pelo movimento macroscópico do fluido e microscópico com o mecanismo de **condução** pelos átomos e moléculas do fluido (massa de ar) a transferência de calor é gerada;

III: incorreta, também! Em uma churrasqueira, o principal mecanismo de transferência de calor entre o **carvão** (incandescente) e a carne é a **radiação**! Esse mecanismo é gerado pelas ondas eletromagnéticas emitidas pela luz gerado no calor do carvão, sendo o principal meio de troca de calor. Um caso comum é cozimento, para não queimar a carne, com papel alumínio com o lado altamente **reflexivo** para fora da carne. Por ser uma superfície reflexiva, parte da radiação não é absorvida e transferida para carne, proporcionando um cozimento mais demorado, sem queimar a carne (e a costelinha de porco fica no "grau", Coruja! rs).

Gabarito: "a".

44. (Cesgranrio/DECEA- Técnico de Defesa e Controle de Tráfego Aéreo - 2009)

O lado interno da parede de uma planta industrial encontra-se submetido a produtos de combustão a uma temperatura de 100°C e coeficiente de filme igual a 10 W/m² °C. Esta parede é recoberta por uma



camada de 6 mm de um isolante que apresenta uma condutividade térmica igual a $0,02 \text{ W/m}^\circ\text{C}$. O lado externo do conjunto parede-isolante interage termicamente com o ar ambiente, cuja temperatura e coeficiente de filme valem, respectivamente, 25°C e $5 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$. Se a espessura da parede tiver 4 cm, e se sua condutividade térmica for igual a $0,1 \text{ W/m}^\circ\text{C}$, a taxa de transferência de calor referente à parede, em W/m^2 , e a temperatura na interface parede-isolante, em $^\circ\text{C}$, respectivamente, valerão:

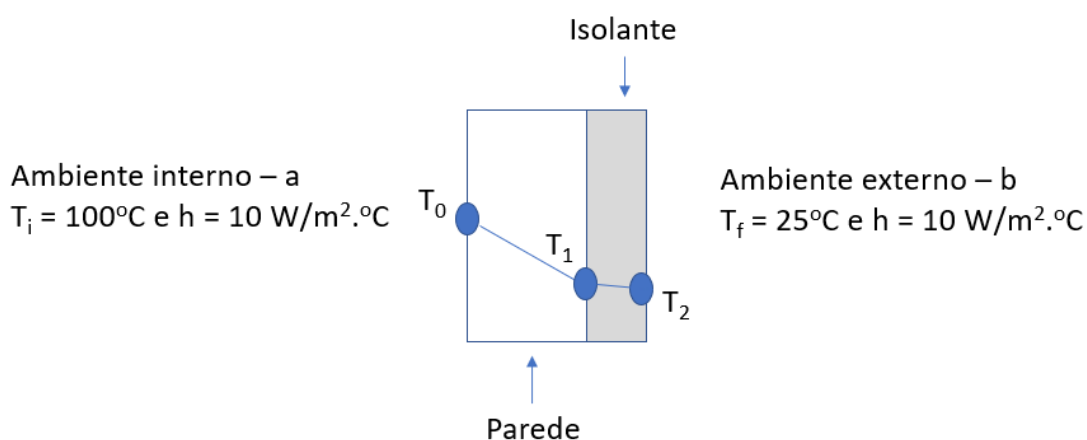
- a) 4,7 e 97,65
- b) 20 e 27,92
- c) 52,5 e 63,25
- d) 75 e 62,5
- e) 75 e 94,75.

Comentário:

Oras, Corujinha! Questão super tranquila! Ela nos exige somente uma interpretação simples da transferência de calor em regime estacionário, com aplicação das fórmulas que vimos para **condução** e **convecção**. Nesses exercícios, podemos utilizar tranquilamente a **analogia** que estudamos com circuitos elétricos para acharmos as **resistências térmicas** e encontrarmos o que o enunciado quer. Vamos lá?

Bom, primeiramente é bom entendermos o que está ocorrendo no problema. Oras, temos uma região com produtos à combustão (lado interno da parede - a, na figura) que vai gerar trocar calor por convecção com a superfície interna da parede. Essa parede contém um isolante de outro lado (por ela e pelo isolante, teremos a troca de calor por condução) que isola com o outro ambiente - b, na figura - (mais uma troca por convecção).

Veja a ilustração da explicação:



Aplicando o conceito da resistência para cada mecanismo, Coruja, temos a sequência: 1- resistência do ambiente interno (convecção); 2 - resistência da parede (condução); 3 - resistência do isolante (condução) e, por final, 4 - resistência do ambiente externo (convecção). Oras, basta substituímos os valores dos respectivos coeficientes que encontramos o resultado de cada resistência:

- 1 - $R1 = \frac{1}{h} = \frac{1}{10} = 0,1 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W};$
- 2 - $R2 = \frac{l}{k} = \frac{0,04}{0,1} = 0,4 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W};$
- 3 - $R3 = \frac{l}{k} = \frac{0,006}{0,02} = 0,3 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W};$
- 4 - $R4 = \frac{1}{h} = \frac{1}{5} = 0,2 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W};$

Perceba que, como os valores dos coeficientes, já estão por unidade de área, não nos interessa a área de parede, Coruja. Oras, agora, matamos. Basta aplicarmos a fórmula do **fluxo global** de transferência de calor, que encontramos a taxa e a temperatura do isolante. Somando a resistência, temos uma **resistência equivalente de:**

- $Req = 0,1 + 0,4 + 0,3 + 0,2 = 1 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W};$

$$Q = \frac{\Delta t}{Req} = \frac{(100-25)}{1} = 75 \text{ W/m}^2;$$

Perfeito! Já encontramos a **taxa** e eliminamos, assim, as letras "a", "b", e "c". Tranquilo. Agora, com a taxa de transferência desse processo, encontramos facilmente as temperaturas envolvidas em cada etapa. Para a convecção entre o ambiente interno e a superfície da parede, encontramos T_o . Assim, temos:

$$75 = \frac{(100-T_o)}{0,1} = T_o = 92,5 \text{ } ^\circ\text{C};$$

Agora, encontraremos T_1 - temperatura na interface da parede com o isolante - pela **condução** de calor através da parede até a superfície do isolante:

$$75 = \frac{(92,5-T_1)}{0,4} = T_1 = 62,5 \text{ } ^\circ\text{C};$$

Gabarito: "d".

45. (Cesgranrio/DECEA- Técnico de Manutenção - 2006)

Uma parede com área de 9m^2 e 15cm de espessura de concreto, com condutibilidade térmica de $0,3\text{kcal/hm } ^\circ\text{C}$, separa dois ambientes às temperaturas de 25 e 5 $^\circ\text{C}$. Nestas condições, o fluxo de calor pela parede, em kcal/h, é de:



- a) 90
- b) 180
- c) 270
- d) 360
- e) 450.

Comentário:

Tranquilidade, Coruja! Basta aplicarmos a nossa "boa e véia" equação de Fourier para a **condução** (mecanismos de transferência de calor através da parede). Assim, convertendo a espessura de centímetro para metro, temos:

$$q_k = -k \cdot A \cdot \frac{dT}{dx} = -0,3 \cdot 9 \cdot \frac{(5 - 25)}{0,15} = 360 \frac{kcal}{h};$$

Gabarito: "d".

46. (Cesgranrio/DECEA - Técnico de Manutenção - 2006)

O vidro de uma janela tem 5 mm de espessura e uma área de 2 m². Suas faces interna e externa são mantidas a temperatura de 20 °C e -10 °C, respectivamente. Considerando que a condutividade térmica do vidro vale 1 W/m°C, o fluxo de calor (kW) por condução através dele é:

- a) 2
- b) 3
- c) 4
- d) 6
- e) 12.

Comentário:

Perceba, Estrategista, que esse tipo de questão pela Cesgranrio é bem comum e, muito provavelmente aparecerá na sua prova. Novamente, basta aplicarmos a nossa fórmula. Veja que ele quer o fluxo em kW (basta multiplicarmos por 1000) e passarmos a espessura da parede de milímetros para metro. Assim, temos:

$$q_k = -k \cdot A \cdot \frac{dT}{dx} = -1 \cdot 2 \cdot \frac{(-10 - 20)}{0,005} = 12.000 W = 12 kW;$$



Gabarito: "e".

EAOEAR

47. (EAOEAR - Engenharia Mecânica - 2018)

Informe se é verdadeiro (V) ou falso (F) o que se afirma sobre transferência de calor.

- () Transferência de calor é energia em trânsito devido a uma diferença de temperatura.
- () Quando a condutividade térmica do material tem um valor baixo, o material é considerado condutor térmico e, caso contrário, isolante térmico.
- () Quando a transferência de energia ocorrer em um meio estacionário, que pode ser um sólido ou um fluido, em virtude de um gradiente de temperatura, a transferência de calor ocorre por condução.
- () Aletas têm como função fornecer superfície extra para o calor se dissipar. Com isso, aumenta-se a taxa de transferência de calor (q) entre um sólido e um fluido.
- () Quando a transferência de energia ocorrer entre uma superfície e um fluido em movimento, em virtude da diferença de temperatura entre eles, a transferência de calor ocorre por radiação.

De acordo com as frases acima marque a sequência correta.

- a) (V); (F); (V); (V); (F).
- b) (V); (F); (V); (F); (V).
- c) (F); (V); (V); (F); (V).
- d) (F); (V); (F); (V); (F).

Comentário:

Opa! Questão conceitual que nos cobra vários pontos da nossa matéria, como os fundamentos, mecanismos e aletas. Vejamos cada assertiva de cima para baixo:

V - exatamente, Coruja! Falamos disso exaustivamente no decorrer da aula! Calor é **energia em trânsito** de um corpo/região/partícula de maior temperatura para um corpo/região/partícula de menor temperatura;

F - a assertiva troca as definições, Coruja! É justamente o contrário! Quanto **menor** a **condutividade térmica** de um material, **mais isolante** ele é (óbvio, mais difícil é a transferência de calor por esse



material). Veja o exemplo do ar e do aço. O ar tem baixíssima condutividade térmica, sendo um isolante natural eficaz (vide o porquê da lã que possui microbolhas de ar na sua constituição, isolar o beduíno no deserto e /ou o(a) gaúcho(a) no sul do nosso Brasil, rs). Além disso, quanto **maior** a condutividade, **maior** a facilidade de transferência de calor de um material. Por isso, os metais são excelentes condutores. Experimente segurar no cabo de uma frigideira caso ele seja de metal para você ver que rapidinho você vai sentir a temperatura aumentar proveniente do fogo da boca do fogão. Veja alguns valores de condutividade térmica e alguns materiais:

Material (em diferentes estados - sólido, líquido ou gasoso)	Condutividade Térmica (k) a 300 K $\left(\frac{J}{s.m.K}\right)$ ou $\left(\frac{W}{m.K}\right)$
Cobre	399
Alumínio	237
Aço-carbono com 1% de Carbono	43
Vidro	0,81
Plásticos	0,2 a 0,3
Água	0,6
Etilenoglicol	0,26
Óleo de motor	0,15
Freon em estado líquido	0,07
Hidrogênio	0,18
Ar	0,026
Madeira	0,17

V - exatamente, Estrategista! Meio estacionário, sem oscilação da temperatura em função do tempo, temos a **condução** presente em qualquer fluido (lembre-se que fluido pode ser sólido, líquido ou gasoso), transferindo energia pela oscilação entre as partículas desse material. Lembre-se que é justamente a união da **condução** e da **advecção** que dá origem ao mecanismo da **convecção**. A questão cita fluido ou sólido para ilustrar a diferença entre o movimento de um fluido para que a advecção ocorra. Em virtude do gradiente de temperatura, temos o mecanismo de **condução** ocorrendo. Com o movimento de um fluido sobre uma superfície, também teremos advecção, por exemplo.

V - perfeita! Exatamente como descreve a assertiva! As **aletas são extensões** do material da peça com o intuito de **aumentar** a superfície de contato entre o fluido que refrigera a peça, potencializando a troca de calor. Um exemplo de superfície "aletada" é o **dissipador** de processadores de computadores;

F - errado! A assertiva descreve a transferência de calor pelo mecanismo de **convecção** e, mais especificamente, pela **advecção** que se caracteriza pelo movimento macroscópico do fluido em relação a uma superfície em sua vizinhança.

Gabarito: "a".



48. (EAOEAR - Engenharia Mecânica - 2018)

A parede da fornalha de uma panela da aciaria é construída de tijolos refratários com 0,25m de espessura e condutividade térmica de 1,3W/mK. A temperatura interna da parede é 1.327°C e a temperatura externa da parede é 917°C.

A taxa de calor perdido através de uma parede com 1,6m por 1,8m é aproximadamente.

- a) 426W.
- b) 1.234W.
- c) 1.535W.
- d) 6.140W.

Comentário:

Questão tranquila que nos cobra a aplicação da **Equação de Fourier** (ou Lei de Fourier) no regime permanente e unidimensional para o mecanismo de **condução**. Veja que a questão nada nos diz sobre a troca de dentro do forno e/ou entre a parede externa e o meio que corresponda a sua vizinhança (logo, ele não quer saber a troca por convecção). Aplicando a equação, temos:

$$q_k = -k \cdot A \cdot \frac{dT}{dx}$$

Veja que a temos **condutividade térmica** $k = 1,3\text{W/mK}$; a temperatura externa da parede $T_e = 917^\circ\text{C}$; a temperatura interna da parede $T_i = 1327^\circ\text{C}$; a espessura da parede $dx = 0,25\text{m}$ e as dimensões dessa parede para o cálculo de sua área:

$$A = 1,6 \times 1,8 = 2,88 \text{ m}^2;$$

Agora, basta aplicarmos a fórmula e "correr para o abraço"! (Veja que não há necessidade de passar as temperaturas para Kelvin. Todavia, lembre-se que, a depender da questão e cobrança, é necessário fazer a conversão).

$$q_k = -k \cdot A \cdot \frac{dT}{dx} = -1,3 \cdot 2,88 \cdot \frac{(917 - 1327)}{0,25} = 6,140,16 \text{ W}$$

Gabarito: "d".

49. (EAOEAR - Engenharia Mecânica - 2017)



É importante entender os mecanismos físicos presentes nos diferentes modos da transferência de calor para utilizar as equações das taxas de transferência de calor, de forma a quantificar a energia sendo transferida por unidade de tempo. Associe as duas colunas relacionando os temas com seus respectivos conceitos.

TEMAS

- (1) Condução
- (2) Convecção
- (3) Radiação

CONCEITOS

- () representa a transferência de energia devido ao movimento molecular aleatório (difusão), ou a transferência de energia através do movimento global (macroscópico) do fluido.
- () é vista como a transferência de energia de partículas mais energéticas para partículas de menor energia em um meio, devido às interações entre elas.
- () é a energia emitida por toda a matéria que se encontra a uma temperatura não nula.

A sequência correta dessa classificação é

- a) 1 – 2 – 3
- b) 3 – 1 – 2
- c) 2 – 1 – 3
- d) 2 – 3 – 1.

Comentário:

Opa! Questão super tranquila, Coruja! Ela nos cobra a definição de cada mecanismo de transferência de calor que vimos: **condução**, **convecção** e **radiação**. Vejamos cada assertiva de cima para baixo:

2 - a descrição se refere claramente ao mecanismo de **convecção**! Lembre-se que nele temos a condução (transferência pelo **movimento molecular - difusão**) quanto o **movimento macroscópico** do fluido em sua vizinhança (advecção);

1 - "sem tirar e nem por", Estrategista! Temos a **condução**! Esse mecanismo precisa de um **meio** material para a transferência de energia (calor) entre as partículas (nível molecular e atômico) que compõem cada material específico;

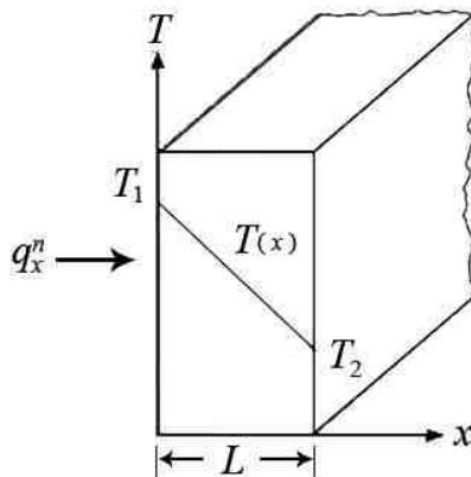
3 - lembre-se que a **radiação** (além de ser um mecanismo que **não precisa de meio** para se propagar devido a sua natureza de **onda eletromagnética**), ela corresponde a energia que toda matéria emite desde que não possua temperatura nula (ou -273°C ou 0 K);

Gabarito: "c".



50. (EAOEAR - Engenharia Mecânica - 2017)

Observe e analise a figura abaixo de uma parede que possui tijolos refratários com espessura igual a L e condutividade térmica de k .



Considerando o regime estacionário, a taxa de calor perdida através de uma parede com C de comprimento por A de altura é

- a) $q_x = Lk \cdot (T_2 - T_1)$
- b) $q_x = ACk \cdot \frac{T_2 - T_1}{L}$
- c) $q_x = k \cdot \frac{T_2 - T_1}{L}$
- d) $q_x = k \cdot \frac{T_2 - T_1}{ACL}$

Comentário:

Mais uma questão super fácil, Coruja! Basicamente, temos somente a aplicação da nossa **Equação de Fourier** para o regime estacionário (permanente). Assim:

$$q_k = -k \cdot A \cdot \frac{dT}{dx};$$

Substituindo as incógnitas na equação, e considerando que a área da parede é o produto do seu comprimento " C " pela sua altura " A ", temos a Área = $A \cdot C$:

$$q_x = k \cdot A \cdot C \cdot \frac{(T_2 - T_1)}{L};$$



Veja que, a rigor, faltou o sinal de subtração na fórmula da alternativa, pois a questão considera a temperatura final T_2 e inicial T_1 para o cálculo do gradiente de temperatura. Como $T_2 < T_1$, temos um resultado **negativo**. Assim, caberia o sinal de "menos" para indicar esse detalhe. Todavia, a alternativa menos errada é a letra "b".

Gabarito: "b".

FGV

51. (FGV/PC-RJ - Perito Criminal - Engenharia Mecânica - 2021)

A distribuição de temperatura ao longo da espessura h de uma chapa grossa exposta a uma fonte de geração de calor uniforme ao longo de uma das suas superfícies é dada pela expressão:

$$T(x) = 5^{\circ}\text{C} + 10^{\circ}\text{C} \cdot \exp\left[\left(\frac{x}{h}\right)^2\right], 0 \leq x \leq h$$

Dados: $\exp(1) = 2,7$; $\exp(2)=7,4$; $\exp(3) = 20,1$.

A chapa possui espessura de 100 mm e área total exposta à fonte de 1 m². Sabendo-se que o coeficiente de condutividade térmica do material da chapa é de 30 W/mK, a taxa de transferência de calor que deixa a chapa é de:

- a) 0,6 kW;
- b) 16,2 kW;
- c) 22,2 kW;
- d) 40,2 kW;
- e) 56,4 kW;

Comentário:

Mais um questão fácil, porém que pegaria o aluno que esqueceu de regrinha de derivada. Tranquilidade, Coruja, porque essas questões, como você pode perceber do material, na qual é fornecida a função da temperatura para derivar em relação a "x" é extremamente rara. Vamos lá. Oras, primeiramente, temos que relembrar da nossa famigerada equação de **fourier**:

$$q_k = k \cdot A \cdot \frac{dT}{dx};$$

A área (A) é dada ($A = 1 \text{ m}^2$). A espessura **total** da chapa é $h = 100 \text{ mm} = 0,1 \text{ m}$. Além disso, temos a **condutividade térmica** $k = 30 \text{ W/m.K}$. Perfeito! Precisamos somente encontrar o valor da temperatura



(em Kelvin) na região da placa por onde ela perde calor e, assim, encontrar o valor da **taxa de transferência de calor** que deixa a placa.

Perceba que o enunciado não nos fornece essa temperatura, mas sua **função** em relação a **x** (valores da espessura dessa placa). O que precisamos fazer é **derivar** a função dada e jogar $x = 100$ mm na expressão para encontrar essa temperatura considerando a espessura total dela.

Veja que nossa função é exponencial e na base "**e**" (número neperiano). Perceba que **exp** é somente uma outra forma de indicar que a função é exponencial e na base "**e**" (somente, uma nomenclatura diferente, mas caso você não se lembrasse, veja que nas informações dadas, ele diz que $\exp(1) = 2,7$ que é o valor do número neperiano "**e**", arredondado a uma casa decimal). O problema é que você deveria lembrar que a derivada de uma função exponencial na base "**e**" segue uma regra específica, que por sua vez, provém da famosa **Regra da Cadeia** lá das aulas de Cálculo Diferencial (que, obviamente, não é objeto do nosso estudo). Essa regra, nos diz que a **derivada de uma função exponencial de base "e"** elevada a um termo "**u**" é **igual a derivada desse termo em relação a "x"** (incógnita da função) **vezes a função exponencial** elevada ao termo **u**. Em termos matemáticos, é a mesma coisa que o seguinte:

$$(e^u)' = u' \cdot e^u;$$

Matamos a "danada"! Oras, veja que essa "regrinha" de derivada, tem origem na tal da **Regra da Cadeia** que, para quando se tem uma função exponencial $y = a^u$ (considerando $a > 0$ e diferente de 1) e "**u**" sendo uma função derivável de "**x**", logo: $y' = a^u \cdot \ln a \cdot u'$. Essa é uma proposição clássica para esse tipo de função que aplica a Regra da Cadeia. Isso porque a Regra da Cadeia nos diz que:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{dy}{du} \times \frac{du}{dx};$$

"Tá, professor, como assim?" Oras, Coruja, ela quer dizer que a derivada de uma função **y** em relação a "**x**", é igual ao produto da sua derivada em relação a "**u**" (uma incógnita utilizada para facilitar o cálculo) e a derivada de "**u**" em relação a **x**.

Veja, lá em cima, na regrinha da exponencial de base "**e**", temos a derivada de **u** (u') que é a parte du/dx da Regra da Cadeia e a repetição da função e^u que representa a parte dy/du da expressão. Logo:

$$\frac{dy}{du} = e^u; \quad \frac{du}{dx} = u'.$$

Oras, mas se para um função exponencial **qualquer** do tipo: $y = a^u$, temos sua derivada $y' = y' = a^u \cdot \ln a \cdot u'$, e o logaritmo neperiano? Coruja, $\ln$ (logaritmo neperiano) de "**e**" vale 1, certo? Propriedade de logaritmo, Coruja! Logo, nossa expressão na base "**e**" é: $y = e^u$, logo sua deriva é: $y' = e^u \cdot \ln(e) \cdot u'$. Assim, $y' = e^u \cdot u'$. Mesma expressão da regrinha que vimos lá em cima e que resolve a derivada da questão.



Eu só expliquei tudo isso para você entender da onde ela vem lá da Regra da Cadeia da disciplina de Cálculo, Estrategista. Claro que maiores detalhes e, se caso você não se lembra desses pontos, é bom revisar essas ferramentas. Só que já adianto que essa é a primeira questão que vejo cobrar essa exigência. Por isso, tranquilidade! Nada de sair decorando cada regra de derivada, hein?! Custo benefício é pífio!

Bom, passada essa parte, vamos resolver a questão. Veja que para nossa expressão do enunciado, temos a $T(x) = 5^{\circ}\text{C} + 10^{\circ}\text{C} \cdot [\exp(\frac{x}{h})^2]$. Oras, sabemos que a derivada dessa expressão, o número 5 some (pois é uma constante). O valor 10 continua multiplicando e temos que fazer a derivada da nossa função exponencial que expliquei a regra anteriormente. Veja que o nosso " u " é $u = (\frac{x}{h})^2$, certo? Pois, bem. Assim:

$$\frac{dt}{dx} = 10 \cdot u' \cdot e^u;$$

Oras, $u = (\frac{x}{h})^2$. Podemos escrever essa expressão, para facilitar sua visualização, da seguinte forma: $u = (\frac{x^2}{h^2}) = \frac{1}{h^2} \times (x^2)$. Fazendo sua derivada, em relação a " x ", que é a nossa variável, temos:

$$u' = \frac{2x}{h^2};$$

Maravilha! Agora, temos nossa derivada da temperatura em relação a " x ":

$$\frac{dt}{dx} = 10 \cdot u' \cdot e^u = 10 \times \frac{2x}{h^2} \times e^u = 20 \times \frac{x}{h^2} \times e^{(\frac{x}{h})^2};$$

Para, $x = 100 \text{ mm}$, como $h = 100 \text{ mm}$, temos que $x = h$. Assim, nossa expressão fica:

$$\frac{dt}{dx} = 20 \times \frac{h}{h^2} \times e^{(\frac{h}{h})^2} = 20 \times \frac{1}{h} \times e^1 = 20 \times \frac{1}{h} \times 2,7;$$

Como, $h = 100 \text{ mm} = 0.1 \text{ m}$, temos:

$$\frac{dt}{dx} = 20 \times \frac{1}{0,1} \times 2,7 = 540 \text{ K}.$$

Substituindo na equação de fourier, temos:

$$q_k = k \cdot A \cdot \frac{dT}{dx} = 30 \cdot 1 \cdot 540 = 16200 \text{ W} = 16,2 \text{ kW}.$$



Gabarito: "b".

52. (FGV/PC-RJ - Perito Criminal - Engenharia Mecânica - 2021)

O mecanismo de transferência de calor que se dá pelo movimento de um fluido devido às forças de empuxo no seu interior é denominado:

- a) condução;
- b) radiação;
- c) convecção natural;
- d) convecção forçada;
- e) convecção mista.;

Comentário:

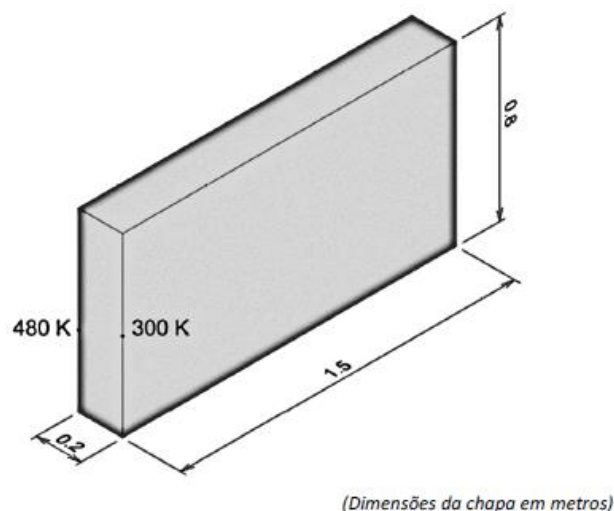
Opa! "Moleza", hein? Que isso! Quer "moleza", FGV, sentano colo do Prof. Juliano, oras! rsrss (brincadeira, Coruja, é só para descontrair. Prof. Juliano é baita camarada!). Estrategista, veja que é a definição perfeita da **convecção natural**. Lembre-se que ela se dá pelo o empuxo gerado, muito por conta da diferenças de pressões associadas com a temperaturas em cada região. Perceba que na **convecção forçada**, temos forças externas atuando, como o vento produzido por um ventilador e a **mista**, pode-se entender que é a união das duas. Não é o caso. Por isso, nosso gabarito é a letra "c". As demais, não tem sentido com a descrição!

Gabarito: "c".

53. (FGV/AL-RO - Analista Legislativo - Engenharia - 2018)

Uma chapa, com espessura de 0,20 m, tem sua face inferior mantida a uma temperatura constante de 480 K, enquanto a face externa é mantida a 300 K, como ilustrado na figura a seguir.





Deseja-se que a perda de calor através da parede seja de 54 kW. Assim, o material da chapa deve possuir coeficiente de condutividade térmica igual a

- a) 50 W/mK.
- b) 100 W/mK.
- c) 150 W/mK.
- d) 200 W/mK.
- e) 250 W/mK.

Comentário:

Opa! Tranquilidade, hein, Coruja? Veja que, novamente, temos um caso de **transferência de calor** pelo mecanismo da **condução**. Oras, utilizaremos a nossa boa e "veia" Equação de Fourier para encontrarmos o **coeficiente de condutividade térmica**. Vejamos:

$$q_k = -k \cdot A \cdot \frac{dT}{dx};$$

A área (A) é corresponde a área do retângulo, só fazer o produto da sua extensão pela altura (1,5 x 0,8 = 1,2 m). O calor transferido entre a superfície quente (Tq = 480 K) para a superfície fria (Tf = 300 K) corresponde a 54 kW (q = 54 kW). Como a espessura da parede é de 0,2 m, temos nosso dx = 0,2 m. Pronto. Só substituir:

$$q_k = -k \cdot A \cdot \frac{dT}{dx}; 54000 = -k \cdot 1,2 \cdot \frac{(300 - 480)}{0,2}; k = 50 \text{ W/m}.$$

Gabarito: "a".

54. (FGV/AL-RO - Analista Legislativo - Engenharia - 2018)

Um cubo de lado 10 cm foi aquecido de 100 °C até 130 °C durante 20 minutos. Sabendo-se que a densidade do cubo é de 8000 kg/m³ e seu calor específico é de 0,4 kJ/(kg. °C), a taxa média de transferência de calor é de

- a) 20 W.
- b) 40 W.
- c) 60 W.
- d) 80 W.
- e) 100 W.

Comentário:

Estrategista, essa é uma questão que envolve mais conhecimento básico de **Termodinâmica** e do conceito de **potência** do que de **Transferência de Calor**. Isso ocorre, porque no fundo, a **Taxa Média de Transferência de Calor** é também dada em unidade de **potência (W)**.

Como sabemos do ensino médio, o **Watt (W)** é igual a **Joule por segundo (J/s)**, que é justamente uma medida de **energia por tempo**. Nesse sentido, a questão nos cobra exatamente isso. Em um dado cubo, com algumas características inerentes a sua forma e seu material (calor específico), há o aquecimento de uma temperatura a outra durante um determinado tempo.

Oras, Coruja, se ele foi aquecido, é porque tivemos uma **taxa de calor** (que é **energia**, como vimos em aula, **transferida**). E é essa **taxa** que devemos descobrir.

- Primeiramente, temos que achar o quanto de **calor (energia)** que foi gerado. Para isso, como não ocorreu mudança de fase, temos a famosa fórmula "Quemacete" do Ensino Médio. Lembra dela, Estrategista? Veja ela aí:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

- Precisamos achar a **massa (m)**, em **kg**, para poder ser substituída em nossa fórmula. Perceba que o exercício nos forneceu a **densidade** do cubo e o valor da dimensão do seu lado (**10 cm**). Assim, pela fórmula da **densidade** que é **massa por volume**, encontramos a massa:

$$d = \frac{m}{V}$$

- Como a densidade está em **m³**, temos que achar o **volume** em **m³**. Sabemos que o volume do **cubo** é o produto da sua largura, profundidade e altura. Como seus lados são iguais, temos que



essas dimensões são todas iguais a 10 cm. Assim, primeiramente, precisamos transformar 10 cm em **metros**, o que nos gera para cada medida, o valor de **0,1 m**, já que **1 m = 100 cm**. Dessa forma, temos o **volume (V)** e a **massa**:

$$V = 0,1 \cdot 0,1 \cdot 0,1 = 0,001 \text{ m}^3$$

e

$$8000 = \frac{m}{0,001} > m = 8 \text{ kg}$$

- Descobrimos a massa, com a fórmula para o cálculo do calor, descobrimos a quantidade de calor e dividindo essa quantidade pelo tempo, achamos a **taxa de transferência de calor**, já que temos a variação de **temperatura** que foi de **100°C** para **130°C** (não há necessidade de conversão para Kelvin, Estrategista, pois temos o calor sensível em Celsius, rs). Outro detalhe que temos que ter em mente é que o **calor específico** foi dado em **kJ**, logo, o valor de **0,4 kJ/(kg. °C)** precisa ser multiplicado por **1000** para termos em **joules**. Assim, temos:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T > Q = 8 \cdot 0,4 \cdot 1000 \cdot (130 - 100) = 96000 \text{ J}.$$

- Como a **Taxa Média de Transferência de Calor** é dada em **Watts (J/s)**, temos para o tempo de **20 min = 20.60 = 1200 segundos**:

$$q = \frac{96000}{1200} = 80 \text{ W}.$$

Gabarito: "d".

55. (FGV/AL-RO - Analista Legislativo - Engenharia - 2018)

A difusividade térmica pode ser considerada como sendo

- a) a razão entre o calor conduzido por meio do material e o calor armazenado por unidade de volume.
- b) a razão entre o calor conduzido por meio do material e o intervalo de tempo transcorrido.
- c) a razão entre o calor armazenado por unidade de volume e o intervalo de tempo transcorrido.
- d) o produto entre o calor armazenado por unidade de volume e a difusão de calor pelo material.
- e) o produto entre o calor conduzido por meio do material e o intervalo de tempo transcorrido.

Comentário:



Conforme vimos em aula, Estrategista, a **difusividade térmica** está associada ao **material** que está sendo analisado, consistindo em uma propriedade termofísica importante que vai relacionar **a condutividade térmica** do material e a **capacidade calorífica volumétrica**. Ou seja, a **difusividade térmica** é justamente a **razão** entre a quantidade de calor que é conduzida pelo material e a quantidade de calor armazenada.

Em outras palavras, Coruja, é a relação entre o "quanto de energia o material consegue transferir", pelo "quanto de energia que ele consegue armazenar". Dessa forma, materiais com **alto valor** de difusividade térmica tendem a atingir o **equilíbrio térmico** com o meio mais **rapidamente**. É o caso de uma panela de metal que rapidamente atinge temperaturas elevadas quando aquecida no fogão.

Já materiais com **baixo valor** de difusividade térmica demoram para atingir o equilíbrio térmico com o meio, devido à **baixa condutividade térmica**. É o exemplo da água de uma piscina que, mesmo no verão, com dia ensolarado, possui, pela manhã, uma temperatura relativamente baixa (diferentemente do final do dia), sacou?

Gabarito: "a".

56. (FGV/COMPESA - Analista de Saneamento - Engenharia Mecânica - 2016)

Uma tubulação industrial de aço inoxidável possui 40 mm de diâmetro interno e 5 mm de espessura de parede. Essa tubulação transporta um fluido a 200°C e um fluido externo a uma temperatura de 115°C. Sabendo que o coeficiente de condução térmica do material isolante é igual a 0,2 W/m°C e o coeficiente de convecção na parede externa é de 4,0 W/m² °C, a máxima transferência de calor entre o tubo e o meio externo é igual a, aproximadamente,

Dados de apoio: $\ln(2) \approx 0.7$; $\pi \approx 3$

- a) 40 W/m
- b) 50 W/m
- c) 60 W/m
- d) 70 W/m
- e) 80 W/m

Comentário:

Opa! Tranquilidade, Coruja! Essa é uma questão interessante para treinarmos tanto o conceito de **raio crítico** quanto a condução em **tubos**. Oras, perceba que o examinador quer a **máxima transferência de calor** entre o tubo e o meio externo - logo, ele quer que usemos o **raio crítico**.



Lembre-se que a fórmula do **raio crítico** relaciona o **coeficiente de transferência por convecção** e a **condutividade térmica**, considerando o quanto maior é o raio para a troca por convecção ainda se sobressaia em relação a condução (que, com maior raio e maior raio é prejudicada). A relação do **raio crítico** é:

$$rc = \frac{k}{h};$$

Assim, para calcularmos a **resistência térmica** do material isolante (**Risolante**) temos que considerar o **raio crítico** como sendo o máximo possível para a transferência. Por isso, ele seria o nosso raio máximo externo. Logo, temos, de acordo com o enunciado:

$$rc = \frac{0,2}{4} = 50 \text{ mm} = 0,05 \text{ m};$$

Agora, podemos encontrar a **resistência térmica do tubo de material isolante**, que sofrerá a condução de calor por esse mecanismo. Lembre-se que para os tubos, temos:

$$\dot{q} = \frac{(T_1 - T_2)}{R_{cilindro}};$$

$$R_{cilindro} = \frac{\ln.\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2.\pi.L.k}$$

Oras, o nosso r_2 é justamente o **raio crítico** que encontramos, ao passo que o r_1 será o raio do tubo considerando a espessura da parede. Como o diâmetro do tubo é de 40 mm, temos o seu raio igual a 20 mm, somado com a espessura da parede de isolamento. Assim, $r_{tubo} = 25 \text{ mm}$. Agora, podemos encontrar o $R_{cilindro}$, em função de "L", pois não temos o comprimento do tubo, considerando $\ln(2) = 0,7$:

$$R_{cilindro} = \frac{\ln.\left(\frac{0,05}{0,025}\right)}{2.3.L.0,2} = \frac{\ln.(2)}{6.L.0,2} = \frac{0,7}{6.L.0,2} = \frac{7}{12L};$$

Ótimo. Vamos guardar essa informação. Agora, precisamos encontrar a resistência térmica do mecanismo de convecção, já que ele também irá trocar calor com o fluido que está a 115°C. Assim, precisamos achar a área da superfície que, para um tubo cilíndrico é $2.\pi.r.L$. Pela analogia com sistemas elétricos e considerando o raio crítico para achar a área "A", pois ele é o maior raio externo para a máxima taxa de transferência, temos:

$$R_{convecção} = \frac{1}{h.A} = \frac{1}{4.2.\pi.rc.L} = \frac{1}{4.2.3.0,05.L} = \frac{100}{4.2.3.5.L} = \frac{5}{6}L;$$



Pronto, Coruja! Acabou. Agora, aplicamos a lógica da transferência de calor para sistemas combinados (já que esse é um sistema que temos condução e convecção) com as resistências térmicas que encontramos acima. Assim, temos:

$$Q = \frac{(T_1 - T_2)}{R_{total}} = \frac{(200 - 115)}{\frac{7}{12L} + \frac{5}{6}L} = \frac{85}{\frac{17}{12}L} = \frac{85 \cdot 12L}{17} = 60 L;$$
$$\frac{Q}{L} = 60 \text{ W/m};$$

Veja que o resultado está em função de "L" (comprimento do tubo). Todavia, não precisávamos saber esse valor, pois as respostas são colocada em W/m.

Gabarito: "c".

57. (FGV/TJ-RO - Engenheiro Mecânico - 2015)

Uma parede divide dois ambientes mantidos a temperaturas T_A e T_B . A parede tem sua espessura (E) muito menor do que a altura e a largura e a condutividade térmica (k) é conhecida. Os coeficientes médios de transmissão de calor por convecção para as duas superfícies externas da parede são respectivamente h_A e h_B . Na situação descrita acima a radiação térmica pode ser desconsiderada e o fluxo de calor (watt/m^2) que atravessa a parede pode ser calculado pela expressão:

- a) $(T_A - T_B) / (1/h_A + E/k + 1/h_B)$;
- b) $(h_A \cdot T_A - h_B \cdot T_B) / (E/k)$;
- c) $(T_A - T_B) / (h_A + k/E + h_B)$;
- d) $(T_A + T_B) / (1/h_A + E/k + 1/h_B)$;
- e) $(T_A + T_B) / (h_A + k/E + h_B)$.

Comentário:

Questão muito tranquila, Coruja! Ela nos cobra o conhecimento da **analogia** com sistemas elétricos que vimos em aula, em um cenário no qual temos os mecanismos de **condução** e **convecção** para a transferência de calor. Lembre-se que teremos condução através da parede e convecção entre a superfície do ambiente "A" e do ambiente "B". Assim, admitindo os respectivos coeficientes de convecção e a condutividade térmica, temos a resistência térmica em A, por convecção expressa por $R_c = 1/h_a$ como em B, expressa por $R_c = 1/h_b$ e a resistência para condução $R_k = E/k$:

$$q = \frac{\Delta T}{R_{total}} = \frac{(T_1 - T_2)}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{(T_A - T_b)}{\frac{1}{h_a} + \frac{E}{k} + \frac{1}{h_b}}$$



Perceba que a área "A" não precisa ser colocada, pois o fluxo de calor "q" já está por unidade de área (como o enunciado nos fala $q = \text{watt/m}^2$). Assim, a alternativa que nos traz a expressão correta como acima é a letra "a".

Gabarito: "a".

58. (FGV/TJ-AM - Analista Judiciário - Engenharia Mecânica - 2013)

A parede externa de uma casa é composta por uma camada de 25 cm de espessura de tijolo comum e uma camada de gesso. A taxa de transferência de calor por unidade de área é 40 W.m^{-2} , já a face externa da parede se encontra a 40°C e a face interna à 20°C . Presume-se que a condutividade térmica, em $\text{W.m}^{-1} \text{ K}^{-1}$, do tijolo é 0,7 e a do gesso 0,5.

Assim, assinale a alternativa que determina a espessura de gesso.

- a) 1,00 cm
- b) 2,35 cm
- c) 5,10 cm
- d) 10,00 cm
- e) 23,5 cm.

Comentário:

Tranquilidade, Coruja! Apesar da questão querer de você a resolução pelo tal do "kmédio" (que, já adianto, é uma aproximação meio "porca" para quando se tem dois sólidos em contato) essa questão é tranquila. Ela cobra de nós somente a aplicação da fórmula da Lei de Fourier para o mecanismo de **condução** de calor em regimes estacionários. Lembre-se dela (sinal negativo é para indicar que a variação de temperatura é sempre da maior, que é a inicial, para a menor, que é a final, caso contrário o resultado daria sempre negativo para o fluxo de calor o que não tem o menor sentido):

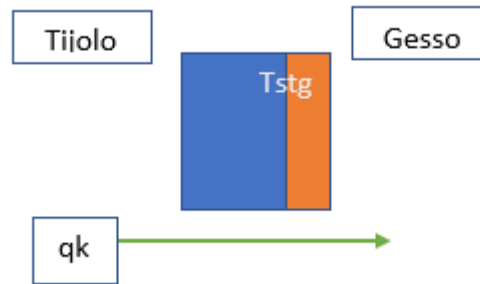
$$q_k = -k \cdot A \cdot \frac{dT}{dx} = k \cdot A \cdot \frac{dT}{dx}$$

Assim, vejamos o que temos pelo enunciado:

$q_k = 40 \text{ W.m}^{-2}$; $k_{\text{tijolo}} = 0,7 \text{ W.m}^{-1} \text{ K}^{-1}$; $k_{\text{gesso}} = 0,5 \text{ W.m}^{-1} \text{ K}^{-1}$; $dx_{\text{tijolo}} = 0,25 \text{ m}$; $dx_{\text{gesso}} = ?$

Oras, as paredes estão juntas e sabemos qual é a variação de temperatura (Final - Inicial) ou (Inicial - Final). Basta aplicarmos, Coruja, a equação para a parede de **tijolo** e encontrar a **temperatura entre as superfícies** (de tijolo e de gesso - **Tstg**) e, depois, aplicar essa variação de temperatura para a parede de gesso. Veja o esquema:





Assim, primeiro encontramos aplicamos a equação para encontrarmos a temperatura da superfície entre as paredes de tijolo e gesso (**Tstg**):

$$40 = 0,7 \cdot \frac{(40 - Tstg)}{0,25} = Tstg = 25,7 \text{ }^{\circ}\text{C};$$

Agora, com essa temperatura que fica na interface das paredes, podemos achar a **espessura** do gesso. Vejamos:

$$40 = 0,5 \cdot \frac{(25,7 - 20)}{dx} = dx = 7,1 \text{ cm};$$

Oras, você perceberá que não tem a resposta. Isso porque a banca considerou uma resolução mais simples (porém, na minha opinião sem grandes rigor acadêmico, já que gesso e tijolo são materiais diferentes, com condutividades diferentes) utilizando um valor de k médio (condutividade média) dos dois materiais. Assim, para chegar ao gabarito deveríamos fazer uma média aritmética dos dois valores de k (do tijolo e do gesso) e aplicarmos na Lei de Fourier:

$$k_{\text{médio}} = 0,6 \text{ W.m}^{-1} \text{ K}^{-1};$$

$$40 = 0,6 \cdot \frac{(40 - 20)}{0,25 + dx_{\text{gesso}}} = dx_{\text{gesso}} = 0,05 \text{ m} = 5 \text{ cm}.$$

E, assim, chegamos ao "gabarito" menos errado que é a letra "c". Sugestão: na hora da prova, calcule pelo método que ensinei acima, separando cada espessura e seu material. Caso não encontre uma resposta próxima (com diferença apenas na casa decimal), faça o "kmédio" dos materiais nessas situações de dois materiais sólidos unidos.

Gabarito: "c".

59. (FGV/SUDENE - PE - Engenheiro Químico - 2013)

A respeito dos mecanismos de transferência de calor, assinale V para a afirmativa verdadeira e F para a falsa.



- () Transferência de calor através de materiais sólidos pode ocorrer por condução e/ou radiação.
- () Transferência de calor através de fluidos ocorre exclusivamente por convecção.
- () Transferência de calor através do vácuo ocorre exclusivamente por radiação.

As afirmativas são, respectivamente,

- a) F, V e F.
- b) V, V e V.
- c) F, F e V.
- d) V, F e V.
- e) V, V e F.

Comentário:

Mais uma questão tranquila, Estrategista! Ela nos cobra os conceitos básicos sobre cada mecanismo de transferência de calor. Vejamos cada assertiva.

I: correta! De fato, tanto a **condução** quanto a **radiação** podem ocorrer através de materiais sólidos. Lembre-se que a **condução** é o mecanismo de transmissão de calor (energia) partícula a partícula, molécula a molécula do material (ou seja, a nível molecular e atômico). A **radiação** é um mecanismo que **não precisa** de um meio para se propagar (como na condução e convecção). Todavia, ela também se propaga em sólidos, líquidos e em gases (claro, o fato de ela ter natureza de ondas eletromagnéticas e ser propaga no vácuo, não impede sua propagação em meios materiais);

II: errada! Vimos que fluidos também transferem energia (calor) por condução (inclusive, dá origem ao termo **convecção**, caso contrário seria somente **advecção** que tem relação somente com o movimento macroscópico) e por **radiação**;

III: correta! Conforme falamos, de fato, somente a **radiação**, por conta da sua emissão ser por **ondas eletromagnéticas** (como a luz solar, por exemplo) que ela pode se propagar sem a necessidade de meio material, como o vácuo;

Gabarito: "d".

60. (FGV/CAERN - Tecnologista em Saúde - Engenharia Mecânica - 2010)

Uma parede com 0,1m de espessura é submetida a uma diferença de temperatura de 100K. A condutividade térmica dessa parede é igual a 2 W/(m.K). Sabe-se que a face mais fria da parede troca calor por convecção com uma atmosfera submetida a uma temperatura 20°C menor que a temperatura



da face fria da parede. Determine o coeficiente de transferência de calor por convecção entre a referida atmosfera e a parede em W/(m²K):

- a) 100
- b) 1000
- c) 2000
- d) 200
- e) 0,01

Comentário:

Estrategista, tranquilidade! Primeira coisa a se fazer é verificar se precisamos converter alguma unidade. De fato, não precisamos (estão todas em Kelvin e metros, sem nenhuma surpresa nas alternativas ou no enunciado).

Agora, é entender a situação problema:

Oras, temos uma parede que sofre o mecanismo de **condução** e que possui uma variação de temperatura ($\Delta T_1 = T_{\text{superfície interna}} - T_{\text{superfície externa}}$), ao passo que, a superfície externa troca calor com o meio ambiente por **convecção**, cuja temperatura do ambiente externo é 20°C menor que a $T_{\text{superfície externa}}$ da parede. Maravilha!

Coruja, concorda comigo que a transferência de calor por condução será a mesma (em valor) que a transferência por convecção nesse problema? Claro! Teremos uma situação na qual o **fluxo de calor** que atravessa a parede por condução é "roubado" pelo ambiente por convecção. Dessa forma, podemos igualar as equações do fluxo de calor por condução com a equação do fluxo de calor por convecção. Assim, podemos achar o **coeficiente por convecção** pedido pelo enunciado, já que o de **condução** (condutividade térmica) ele fornece. Assim, temos:

Condução:

$$q_k = k \cdot A \cdot \frac{dT}{dx}$$

Convecção:

$$q_{cv} = h \cdot A \cdot \Delta T$$

Como $q_{cv} = q_k$, chegamos a seguinte equação:



$$k \cdot A \cdot \frac{dT}{dx} = h \cdot A \cdot \Delta T$$

O pulo do gato, Coruja, está em perceber que a temperatura do ambiente é igual a temperatura superfície externa (face fria da parede, como ele chama) menos 20°C. Vamos escrever isso:

$$T_{amb} = T_{sext} - 20^{\circ}\text{C};$$

Substituindo os valores, temos:

$$dx = 0,1 \text{ m}; dT = 100\text{K}; k = 2 \text{ W}/(\text{m.K})$$

$$h = \frac{k \cdot A \cdot dT}{A \cdot dx \cdot \Delta T} = \frac{2 \cdot 100}{0,1 \cdot (T_{sext} - T_{amb})} = \frac{2 \cdot 100}{0,1 \cdot (T_{sext} - T_{sext} + 20)} = 100 \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right);$$

Gabarito: "a".

61. (FGV/BADESC - Engenheiro - 2010)

Assinale a alternativa correspondente ao material de maior calor específico.

- a) Aço.
- b) Água.
- c) Alumínio.
- d) Cobre.
- e) Óleo.

Comentário:

Questãozinha pura decoreba que nos cobra o **calor específico** (nada mais é que a razão entre a **quantidade de calor** que é transferida pela unidade de massa da substância específica e a elevação de temperatura que essa quantidade de calor gerou). Logo, cada substância terá o seu valor, Coruja, e querer de você a memorização de todas, realmente, é um absurdo.

Todavia, é bom que você conheça as principais (principais materiais utilizados) e saber que a **água** é a substância que possui um dos maiores valores encontrados na natureza (1,0 cal/g.°C) e dentre as opções é a que possui, de fato, o maior valor. Abaixo coloquei uma tabela para que você tenha uma ordem de grandeza para sua prova (não precisa decorar os números), pois é bom saber dessas substâncias/materiais:

Substância/Material	Calor específico (cal/g.°C)
---------------------	-----------------------------



Amônia líquida	1,125
Água	1
Alumínio	0,214
Aço (generalizado)	0,12
Ferro fundido	0,11
Cobre	0,0921
Óleo (generalizado)	0,400

Gabarito: "b".

62. (FGV/Senado Federal - Engenheiro Mecânico - 2008)

O ar a 20 °C escoa sobre uma placa de 1m² a uma temperatura de 250 °C. Sabendo que o coeficiente de transferência de calor é 25 W/m².°C, avalie a transferência de calor.

- a) 6,250 kW
- b) 6250 kW
- c) 500kW
- d) 57,5 kW
- e) 5,75kW

Comentário:

Olha aí, Coruja, mais uma questão super tranquila. Veja que basta aplicarmos a nossa "formuleta" da transferência de calor por **convecção**. Oras, temos uma massa de ar se deslocando sobre uma superfície (placa de 1 m²) - cenário clássico desse mecanismo. Assim, temos:

$$q_{cv} = h \cdot A \cdot \Delta T$$

Substituindo os valores, temos (perceba que está tudo em Celsius, e nas mesmas unidades de área - não precisamos fazer nenhuma conversão para acharmos a respostas):

$$q_{cv} = 25 \cdot 1 \cdot (250 - 20) = 5750 \text{ W} = 5,75 \text{ kW}.$$

Gabarito: "e".

63. (FGV/ Senado Federal - Engenheiro Mecânico - 2008)

Análise a alternativa que apresente os modos de transferência de calor:

- a) irradiação e fluxo de calor.



- b) insolação e convecção.
- c) insolação e convecção.
- d) fluxo de calor, radiação e convecção.
- e) condução, convecção e radiação.

Comentário:

Pelo o amor de Deus, hein, Coruja? Que "pai" a FGV! Claro que o gabarito é a letra "e": os mecanismos (ou modos) de transferência (ou transmissão) de calor são: **condução, convecção e radiação**.

Gabarito: "e".

NUCEPE

64. (NUCEPE/PC-PI - Perito Criminal - Engenharia - 2018)

Sobre o processo de transferência de calor por radiação, analise as afirmativas abaixo:

- I - A radiação emitida por um corpo negro é função do comprimento de onda, da temperatura e da direção.
- II - Na distribuição de Planck a radiação emitida varia continuamente com o comprimento de onda.
- III - Pela distribuição de Planck a radiação de corpo negro depende unicamente da temperatura.

Está **CORRETO** apenas o que se afirma em:

- a) II e III.
- b) I.
- c) II.
- d) III.
- e) I e II.

Comentário:

Conforme vimos em aula, Estrategista, o **corpo negro**, também chamado de **irradiador ideal**, é um corpo cuja emissão e absorção de radiação, a uma temperatura específica, é **máxima**, seja qual for o **comprimento de onda eletromagnética** (como vimos, a radiação se propaga porque é emitida na forma de **onda eletromagnética**).



O cálculo para saber o quanto um **corpo negro** consegue emitir e absorver de energia foi amplamente estudado por Max Planck no começo do século passado, pelo estudo de sua teoria quântica. De acordo com a *Lei de Planck*, como vimos em aula, temos que um **corpo negro** possui potência emissiva a **diferentes temperaturas** e em função de **diferentes comprimentos de onda**, diferentemente do que ocorre em um **corpo cinzento**.

Assim, temos:

I: de fato, a radiação emitida pelo **corpo negro** é sim dada em função do **comprimento de onda** e da sua **temperatura**. Todavia, a assertiva erra em dizer que **depende** da **direção**, pois a direção impacta na radiação em **corpos cinzentos** e **não em corpos negros**. Assertiva errada;

II: de fato, na **distribuição de Planck**, temos que a **radiação emitida** vai variar de maneira **contínua** conforme varia o **comprimento de onda**. Assertiva correta;

III: como vimos, a emissão de radiação pela distribuição de Planck **não depende somente** da temperatura, mas **também** do **comprimento de onda**. Assertiva errada.

Gabarito: "c".

65. (NUCEPE/PC-PI - Perito Criminal - Engenharia - 2018)

A parede de um forno com 10 cm de espessura possui condutividade térmica igual a $1 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$, o seu interior encontra-se à temperatura de 410°C , e o coeficiente de troca de calor por convecção é de $45 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$. O ambiente externo também troca calor com o forno por convecção a uma temperatura de 25°C . Admitindo que a taxa de transferência de calor na parede é 450 W/m^2 , a temperatura da superfície interna do forno em $^\circ\text{C}$, vale:

- a) 445.
- b) 300.
- c) 325.
- d) 250.
- e) 400.

Comentário:

Nesse tipo de questão, Coruja, perceba que alguns dados serão irrelevantes, como a **temperatura externa** ao forno (25°C), bem como o processo de **transferência de calor condução** que utiliza a **condutividade térmica** ($1 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$), além da **espessura da parede** (10 cm).

E por que isso?



Oras, perceba que nesse tipo de exercício no qual existem **dois mecanismos** presentes, não necessariamente teremos que usá-los, bastando entender o que a questão realmente quer. Veja que ele deseja saber a temperatura da **superfície interna do forno** em °C. Assim, basta utilizarmos a nossa fórmula inerente a **taxa de transferência de calor por convecção**, pois dentro do forno teremos o mecanismo de **convecção** entre a superfície e o seu interior (seja qual for o fluido que esteja dentro desse forno, já que ele nos fornece o **coeficiente de troca de calor por convecção**, $h = 45 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$).

Assim, basta aplicarmos a nossa fórmula já estudada, considerando que a **área**, não mencionada no enunciado, seja igual a **1 m²**, já que a **taxa de transferência de calor está em W/m²** ($q_{cv} = 450 \text{ W/m}^2$). Vejamos.

$$q_{cv} = h \cdot A \cdot \Delta T > 450 = 45 \cdot (410 - T_{sp}) > T_{sp} = 400 ^\circ\text{C}$$

Gabarito: "e".

CEPS-UFPA

66. (CEPS-UFPA/CEPS-UFPA - Engenheiro - Área: Mecânica - 2018)

Em relação aos mecanismos de transferência de calor, analise as afirmativas seguintes.

I - Na condução a energia é transferida de uma região de alta temperatura para outra de temperatura mais baixa dentro de um meio (sólido, líquido ou gasoso) ou entre meios diferentes em contato direto.

II - Na radiação o calor é transferido de uma superfície em alta temperatura para outra superfície em temperatura mais baixa, quando tais superfícies estão em contato uma com a outra no espaço ou mesmo separadas, ainda que exista vácuo entre elas.

III - Na convecção a energia é transferida das regiões quentes para as regiões frias de um fluido através da ação combinada de condução de calor, armazenamento de energia e movimento de mistura.

IV Somente corpos em temperatura acima de 0°C emitem continuamente radiação térmica.

Estão corretas

- a) II e IV, somente.
- b) I e III, somente.
- c) I, II e IV, somente.
- d) I, II e III, somente.
- e) II, III e IV, somente.



Comentário:

I: conforme vimos em aula, Estrategista, de fato, no mecanismo de transferência de calor por condução, temos a **transferência de energia (calor) de uma região de temperatura mais alta, para outra mais baixa**, seja qual for o meio. Além disso, também ocorre condução entre meios diferentes, **com contato direto**. Assim, imagine que se você pegasse uma colher de metal e colocasse ela com a ponta da haste no fogo do fogão e segurasse na outra extremidade. Você perceberia, Estrategista, que a temperatura se igualaria e você, rapidamente, queimaria a mão rs. Isso ocorre pela **condução** molécula a molécula do metal da colher que **transfere** por **difusão** a energia térmica entre o meio (a colher), além da sua mão em **contato**. Assertiva correta;

II: conforme vimos, a **radiação** também ocorre **com corpos juntos no espaço**, em **contato**, além de **corpos separados**, sendo inseridos em algum **meio** (ar, água ou qualquer outro tipo de **fluido**) ou sendo inseridos no **vácuo** - ausência total de **meio** para transferência de calor. Isso ocorre porque a **radiação** é transferida por **ondas eletromagnéticas** e, por sua natureza, **essas ondas não precisam de matéria** para sua propagação. Assertiva correta;

III: de acordo com nossos estudos, vimos que a **convecção natural** ocorre tanto pelo **movimento** do fluido, como uma massa **macroscópica** que se desloca, ocasionando a **mistura** dos fluidos por diferença de pressão entre os regiões de alta temperatura e de baixa temperatura, quanto pelo **movimento molecular** da agitação de suas moléculas, o que caracteriza a transferência por **condução**. Assertiva correta;

IV: como vimos em aula, Estrategista, os corpos com temperatura de 0 °C **não estão no zero absoluto**, transmitindo, sim, calor por radiação! Não vai errar isso em prova, hein? Foco! Assertiva errada;

Gabarito: "d".

67. (CEPS-UFPA/CEPS-UFPA - Engenheiro - Área: Mecânica - 2018)

Dobrando apenas a espessura de uma parede de alvenaria, sua resistência térmica de condução será

- a) igual à anterior.
- b) metade da anterior.
- c) o triplo da anterior.
- d) o dobro da anterior.
- e) um terço da anterior.

Comentário:



Oras, Estrategista, questão muito simples. Lembre-se da analogia que falamos em aula para as situações de **paredes planas**. Aqui a lógica é a mesma, sendo a analogia com a **resistência elétrica** a base para a **resistência térmica**. Lembra de sua relação? Veja:

$$R_k = \frac{L}{A \cdot k}$$

Oras, perceba pela fórmula que a **espessura da parede** (L) é diretamente proporcional a **resistência térmica** (R_k). Assim, se dobrarmos a espessura, teremos a resistência também dobrada. Esse cenário independe do material (alvenaria, aço, papelão, etc.), pois a **condutividade térmica** (k) será a mesma.

$$2R_k = \frac{2L}{A \cdot k} = 2R_k = \frac{2L}{A \cdot k} = R_k = \frac{L}{A \cdot k}$$

Gabarito: "d".

UECE-CEV

68. (UECE-CEV/DETRAN-CE - Analista de Trânsito e Transporte - Engenharia Mecânica - 2018)

Sobre os modos de transferência de calor, pode-se afirmar corretamente que

- a) a radiação térmica é emitida pela matéria como resultado de mudanças na configuração eletrônica dos átomos ou moléculas no seu interior. A radiação térmica necessita de um meio para se propagar, não ocorrendo no vácuo.
- b) a transferência de calor por condução pode ocorrer em sólidos, líquidos e gases. A taxa temporal de transferência de calor por condução é quantificada macroscopicamente pela lei de Fourier.
- c) a taxa de transferência de calor por convecção é quantificada macroscopicamente pela lei de Stefan-Boltzmann.
- d) a transferência de calor por convecção ocorre somente em gases, onde a energia é transportada por ondas eletromagnéticas.

Comentário:

Letra "a": a primeira parte da alternativa está correta, Estrategista! Realmente, temos na literatura a vertente que defende a radiação térmica como sendo proveniente de **mudanças na configuração eletrônica** (elétrons que vão "pular" nos subníveis de energia) nas quais emitem energia em forma de luz (fótons). Todavia, a segunda parte da alternativa está errada, pois conforme vimos em aula, a radiação térmica é propagada por meio de **ondas eletromagnéticas** e, assim, por sua natureza, **não há necessidade**



de se ter matéria (meio) para propagação, também ocorrendo no vácuo. Assim funciona a radiação solar que se propaga no universo (vácuo) e chega a Terra, por exemplo. Alternativa errada;

Letra "b": conforme vimos em aula, Estrategista, o mecanismo de **transferência de calor por condução vai ocorrer pela difusão da energia cinética interna molecular e atômica**, passando molécula a molécula, átomo a átomo, da região de maior para a região de menor temperatura. Mesmo sendo um fluido (sólido, líquido ou gasoso) teremos a presença desse mecanismo, juntamente com o mecanismo de transferência por convecção, em relação ao aspecto **macroscópico** com outra superfície. Além disso, como vimos também, a **lei de Fourier** é quem rege a quantificação do mecanismo de condução a nível macroscópico. Alternativa correta;

Letra "c": alternativa encontra-se equivocada, Coruja! Lembre-se que vimos isso em aula e a **lei de Stefan-Boltzmann** rege a **emissividade** de radiação térmica de um corpo e foi desenvolvida em laboratório pelos dois cientistas que dão nome à lei. Alternativa errada;

Letra "d": conforme vimos em aula, já daria para "matar" essa até como senso comum, não é? Impossível a convecção estar presente somente em fluidos na forma gasosa! Ela também ocorre, por exemplo, em fluidos na forma líquida, além da energia não ser transportada, nesse mecanismo, por ondas eletromagnética e, sim, **pela movimentação do fluido** em relação a uma superfície sólida. Alternativa errada.

Gabarito: "b".

UFPR

69. (UFPR/UFPR - Engenheiro Mecânico - 2018)

Considere um ambiente de 200 m^2 ($10 \times 20 \text{ m}$) a ser climatizado. A densidade normatizada para a atividade exercida nesse local é de 10 pessoas por 100 m^2 . Nesse ambiente, cada computador dissipa 400 W, e a densidade de pessoas é a máxima. Cada pessoa que ocupa o local dissipa 100 W, e todas utilizam um computador. A iluminação dissipa 10 W/m^2 . A temperatura do ar externo é de 35°C , enquanto o ambiente interno deve estar a 20°C . O pé-direito dessa sala possui 3 metros de altura, e o número de trocas de ar com o exterior é de 8 ACH (*air change per hour*). O ar possui uma massa específica aproximada de 1 kg/m^3 . O calor específico do ar pode ser aproximado por 1000 J/kgK . Todas as paredes recebem insolação, com um acréscimo de insolação de 5°C . O coeficiente global de transferência de calor pelas paredes e pela laje horizontal é de $15 \text{ W/m}^2\text{K}$. No local há ainda uma geladeira que dissipa 300 W e 5 televisores que dissipam 40 W cada. Sabendo que 1 TR é 3,51685 kW, a capacidade do equipamento que deve ser instalado no sistema é de:

- a) 42 TR.
- b) 36 TR.



- c) 30 TR.
- d) 24 TR.
- e) 18 TR.

Comentário:

Parece um "bicho de 7 cabeças", não é, Estrategista? Mas, é bem simples. A única coisa que você teria que lembrar é o conceito de **potência** (está na sua própria unidade internacional - **energia por tempo**) e a fórmula do ensino médio para quantidade de energia interna (calor) de um corpo em estado de equilíbrio (e sem mudança de fase): **$q = m.c.\Delta T$** .

Essas eram a sacadas dessa questão.

Vejamos, Coruja, o pensando do profissional de engenharia. Você possui um ambiente que precisa ser climatizado. Oras, precisamos saber que nesse ambiente o quanto de energia (calor) ele está "produzindo" pelo o que contém nele a fim de saber a capacidade do ar condicionado a ser instalado.

Assim, vamos fazer primeiro o cálculo da quantidade total de energia (**calor**) que está presente nessa situação-problema. Vejamos:

- **Total de potência** (energia para o meio) **dos televisores:** $5 \cdot 40 = 200 \text{ W ou } 0,2 \text{ kW}$;
- **Total de potência** (energia para o meio) **da geladeira:** $300 \text{ W ou } 0,2 \text{ kW}$;
- **Total de potência** (energia para o meio) **dos computadores:** $20 \cdot 400 = 8000 \text{ W ou } 8 \text{ kW}$;
- **Total de potência** (energia para o meio) **das pessoas:** $20 \cdot 100 = 2000 \text{ W ou } 2 \text{ kW}$;
- **Total de potência** (energia para o meio) **da iluminação:** $10 \cdot 200$ (**área do ambiente**) = $2000 \text{ W ou } 2 \text{ kW}$;

Assim, temos uma geração de energia (calor) que é dissipada pelas coisas e pelas pessoas igual a **P total = 12500 W ou 12,5 kW**.

Todavia, além disso, temos a insolação na parede que vai fazer com que o **ar** existente dentro do ambiente também aqueça e passe a fornecer **calor** para esse mesmo ambiente.

Como a **área** do ambiente é **200 m²** e a **altura** do pé direito é de **3 metros**, temos um **volume** de ar de **600 m³**, pois:

$$V = 3 \text{ m} \cdot 200 \text{ m}^2 = 600 \text{ m}^3;$$

Além disso, como temos a **massa específica** desse ar que é **1 kg/m³**, temos uma **massa de ar total** igual a **600 kg**. Calculando a quantidade de calor para o **calor específico do ar** de **1000 J/kg.K** e **variação de**



temperatura de 20 °C (o desejado internamente no ambiente) e 35 °C (do ambiente externo com sol no "talo", rs), temos:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T > Q = 600.1000. (35 - 20) = 9.000.000 \text{ J}$$

Como temos o valor de **8 ACH** (trocas de ar por hora, ou seja, quantas vezes esse ar é trocado por abertura de porta e de janelas, por exemplo), passando para **segundos** e dividindo a energia em **joules**, achamos o quanto de **energia (em Watts)** precisamos fornecer para climatizar esse ar e deixá-lo na temperatura de 20°C. Assim:

$$Q = \frac{9.000.000}{60.60} \cdot 8 = 20.000 \text{ W ou } 20 \text{ kW};$$

Será que acabou? Não, Estrategista! Ainda temos a **energia** é derivada da **troca de calor por convecção** entre as paredes desse ambiente e com o **ar exterior**, configurando uma **taxa de transferência de calor** por **convecção**.

Temos que a **área total** das paredes que sofrem com a insolação é de 180 m². Conforme mostra o enunciado, o pé direto é de **3 metros** (altura desse ambiente). Assim, temos, necessariamente, duas paredes com **60 metros quadrados** (20 m x 3 m - fornecidos pelo enunciado quando ele cita a dimensão de área do ambiente de 200 metros quadrados) e duas paredes com **30 metros quadrados** (10 m x 3 m).

Assim, a área fica: **A_{total} = 60 + 60 + 30 + 30 = 60 + 60 + 60 = 60 x 3 = 180 metros quadrados**. Além disso, temos que somar a área de 200 metros quadrados que corresponde a laje horizontal (teto do ambiente) que também sofre com a insolação:

$$A = 180 + 200 = 380 \text{ m}^2;$$

Dessa forma, com a nossa fórmula da **taxa de transferência de calor por convecção** e o nosso **coeficiente convectivo** (**h=15 W/m².K**) fornecido pela questão, temos:

$$q = h \cdot A \cdot \Delta T > q = 15 \cdot 380 \cdot (35 + 5 - 20) = 114.000 \text{ W ou } 114 \text{ kW};$$

Logo, só precisamos somar todas as potências (energias/calor) que terá que ser dissipada a fim de termos esse ambiente climatizado e, por fim, transformá-la em TR:

$$P(TR) = \frac{114 + 20 + 12,5}{3,52} \sim 42 \text{ TR}$$

Gabarito: "a".



70. (UFPR/UFPR - Engenheiro Mecânico - 2018)

Considere um forno cujo ambiente interno deve ser mantido a 308 °C, com coeficiente de convecção natural de 10 W/m²K. A parede do forno possui uma área total de 5 m² e é composta por duas chapas metálicas de 10 mm de espessura, com condutividade térmica de 50 W/mK recheadas com um material isolante de 20 mm de espessura e condutividade térmica de 1 W/m²K. O ambiente externo está a uma temperatura de 20 °C, com um coeficiente convectivo forçado de 50 W/m²K. A transferência de calor por radiação pode ser desprezada. As expressões de calor utilizando o conceito fundamental de resistências térmicas, a lei de Fourier e a Lei do resfriamento de Newton são:

$$q = UA\Delta T \therefore U = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \sum \left(\frac{L}{k}\right) + \frac{1}{h_2}}; q = -kA \frac{dT}{dx} \text{ (Fourier) e } q = hA\Delta T \text{ (Newton)}$$

Assinale a alternativa que indica o calor transferido aproximado e a temperatura aproximada da parede externa.

- a) 7,5 kW e 45 °C.
- b) 7,5 kW e 60 °C.
- c) 10 kW e 45 °C.
- d) 10 kW e 60 °C.
- e) 15 kW e 60 °C.

Comentário:

Veja, Estrategista, uma questão que relaciona mais de um tipo de mecanismo de troca de calor no mesmo problema. Perceba que teremos a **transferência de calor** sendo aplicada por 5 diferentes tipos de **meio**: primeiro, interno ao forno (**convecção**); depois, a parede composta por 2 chapas e 1 material isolante interno (**condução**) e o último, meio externo (**convecção**).

Para cada meio, o exercício nos fornece os dados dos **coeficientes convectivos (convecção)** e das **condutividades térmicas (condução)**. Além disso, temos as diferenças de **temperaturas** e a **área** da parede desse forno.

Perceba que o exercício até no forneceu as fórmula que iremos utilizar para cada **mecanismo** de transferência em cada meio. Além disso, perceba a relação que ele faz com a variável "**U**", que será nossa **resistência térmica global**, envolvendo a resistência de todos os meios para o cálculo da **taxa de transferência global (q)** que vai atravessar nosso sistema.



Assim, com essa taxa de transferência, a gente encontra a **temperatura** da parede externa, aplicando a equação de newton (equação da **taxa de transferência de calor por convecção**) para o último meio (parede externa do forno e o ambiente externo). Vamos lá?

Primeiramente, vamos fazer as conversões das espessuras para **metro (m)** e achar a **resistência térmica global** desse sistema para a taxa de calor que sai de dentro do forno e vai até o ambiente externo. O exercício nos fornece que:

- Condutividade térmica das chapas metálicas (k_1 e k_3) = 50 W/m.K;
- Condutividade térmica do material isolante (k_2) = 1 W/m.K;
- Coeficiente convectivo (h_1) = 10 W/m².K;
- Coeficiente convectivo (h_2) = 50 W/m².K

$$U = \frac{1}{\frac{1}{10} + \frac{0,01}{50} + \frac{0,01}{50} + \frac{0,02}{1} + \frac{1}{50}} = 7,123 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Pronto, Estrategista, só jogar na nossa boa e velha fórmula já fornecida pelo exercício que engloba tanto a troca por convecção e condução nesse **regime permanente** da situação problema:

$$q = U \cdot A \cdot \Delta T > q = 7,123 \cdot 5 \cdot (308 - 20) = 10237 \text{ W} \sim 10 \text{ kW}$$

Agora, como temos a **taxa de transferência global** que passa por esse sistema, vamos usá-la na situação **local** entre a **parede externa** do forno e o **ambiente externo**. Oras, como você deve ter percebido, Coruja, essa troca será por **convecção**, como o exercício nos informou. Assim, temos:

$$q = h_2 \cdot A \cdot (T_{\text{parede ext}} - T_{\text{amb}});$$

$$10237 = 50 \cdot 5 \cdot (T_{\text{parede ext}} - 20);$$

$$T_{\text{parede ext}} = 60,95 \sim 60 \text{ }^\circ\text{C}$$

Gabarito: "d".

UFGD

71. (UFPR/UFPR - Engenheiro - Mecânica - 2018)

A temperatura da superfície de uma determinada parede é 44° C. A área desta parede é de 200 mm². A temperatura ambiente no local é 24° C. Assinale alternativa que apresenta o correto valor do coeficiente de transferência de calor por convecção necessário para remover o calor dessa parede a uma taxa de 1,9W.



- a) $0,475 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.
- b) $4,75 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.
- c) $285 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.
- d) $475 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.
- e) $2,85 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.

Comentário:

Tranquilidade, hein, Estrategista? Mais uma questão que nos cobra a aplicação direta da famigerada fórmula do mecanismo de **convecção**, certo? rs.

Vamos lá, você já memorizou a nossa "formuleta"? Vejamos:

$$q_{cv} = h \cdot A \cdot \Delta T$$

Perceba que ele quer o coeficiente de transferência de calor já em Kelvin, certo? Portanto, primeira dica, Estrategista: sempre dê um "look" nas alternativas. Veja as unidades, pois mesmo parecendo besteira, na hora da prova, uma questão simples pode nos derrubar pela pressa! Nesse caso, por conta da fórmula, não nos fará diferença a unidade da temperatura estar em Kelvin ou em Celsius. Mas, sempre confira! Na dúvida, faça a conversão que eu te ensinei!

Sabemos o valor da **taxa de transferência de calor por convecção** ($q_{cv} = 1,9 \text{ W}$).

Além disso, ele nos fornece as **temperaturas** do ambiente e da superfícies ($T_{amb} = 44^\circ\text{C}$ e $T_{sup} = 24^\circ\text{C}$) e a **área** ($A = 200 \text{ mm}^2$).

Oras, Coruja, depois de fazermos a conversão da **área** para **m²**, é só "correr para o abraço", certo?

Vejamos. Como para cada **1 metro** temos **1000 mm** ou **10³ mm**, logo, **1 m²** vai equivaler a **10⁶ mm²**. Certo? Olha lá:

$$\frac{1 \text{ m}}{1 \text{ m}^2} = \frac{10^3 \text{ mm}}{(10^3 \text{ mm}^1)^2} > A = 200 \text{ mm}^2 = 0,0002 \text{ m}^2$$

Logo, Estrategista, utilizando nossa fórmula, depois das conversões de área (sem necessidade de converter a temperatura para Kelvin porque o somatório de 273 também vai ser subtraído) temos:

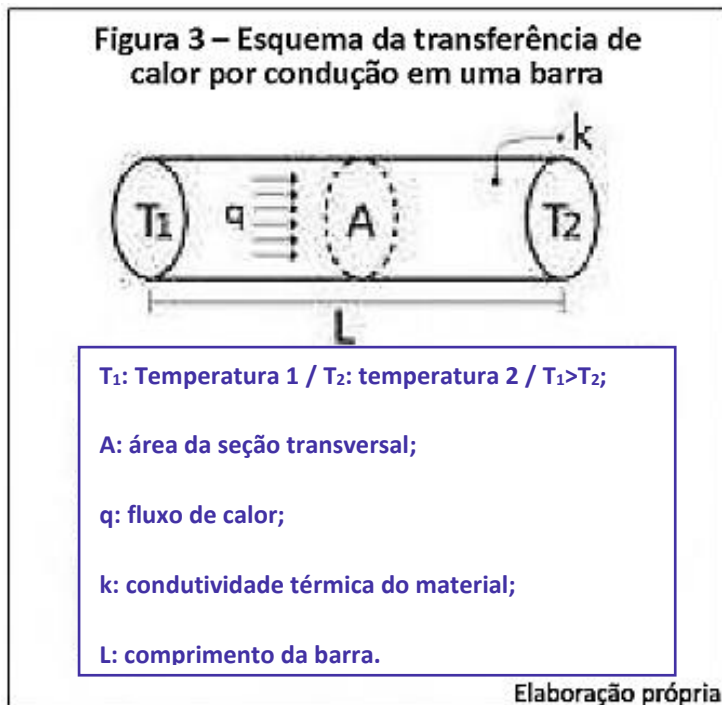
$$1,9 = h \cdot 0,0002 \cdot (44 - 24) > h = 475 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Gabarito: "d".



72. (UFPR/UFPR - Engenheiro - Mecânica - 2018)

O processo de transferência de calor conhecido como "condução de calor" é regido pela lei de Fourier. A **Figura 3** apresenta o esquema do processo de transferência de calor através da condução.



Assinale a alternativa que apresenta a correta relação entre as variáveis para essa lei.

- a) O fluxo de calor é diretamente proporcional à condutibilidade térmica do material.
- b) O fluxo de calor é inversamente proporcional à condutibilidade térmica do material.
- c) O fluxo de calor é inversamente proporcional à área de secção transversal da barra.
- d) O fluxo de calor é diretamente proporcional ao comprimento da barra.
- e) O fluxo de calor não é função de $(T_1 - T_2)$.

Comentário:

Veja, Coruja! Mais uma questão super simples, de mera aplicação de formula dentro do nosso estudo. Aqui temos, mais uma vez, uma questão que aborda o **regime estacionário** (ou **permanente**) para a **transferência de calor** por **condução**!

Você bem lembra que a *Lei de Fourier* vai reger nossos cálculos e ela relaciona tanto a variação de temperatura, a área da seção transversal, o comprimento e a condutividade térmica do material em questão. Veja a seguir a nossa equação:

$$q_k = k \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{L}$$

Com ela em mente na sua prova, Estrategista, fica fácil acertar a questão, certo? Vejamos cada alternativa!

Letra "a": oras, Estrategista, não precisava nem entender de termodinâmica e, muito menos, de **transferência de calor por condução** para "matar" essa alternativa, certo? Perceba pela equação que, realmente, a **condutividade térmica** é diretamente proporcional a **taxa de transferência de calor (ou fluxo de calor)**. E não teria como ser diferente, certo? Já que é a condutividade que vai especificar o quanto cada material "permite" que "passe" de energia por ele! Alternativa correta;

Letra "b": pelo mesmo raciocínio da alternativa "a", temos que a **condutibilidade** (ou **condutividade** é a mesma coisa) **térmica não é inversamente proporcional** a taxa de transferência (ou fluxo) de calor. Alternativa errada;

Letra "c": de maneira análoga a condutibilidade ou condutividade térmica, o fluxo de calor é **diretamente proporcional** à área de seção transversal. Alternativa errada;

Letra "d": oras, Estrategista, nem precisamos dialogar muito, não é? O comprimento é, na verdade, **inversamente proporcional** ao fluxo de calor. Mesmo sem observar a fórmula é possível deduzir essa lógica, certo? Na condução, essa medida de distância só dificulta a passagem de calor, já que maiores medidas o fluxo precisa vencer. Alternativa errada;

Letra "e": de maneira alguma, Coruja! É claro que o fluxo de calor é em função da diferença de temperatura! Justamente ele ocorre devido a ela, pois o fluxo irá da região de **maior** temperatura para a região de **menor** temperatura. Se as temperaturas são iguais, por exemplo, não há troca de calor por **difusão** entre as moléculas do material! Alternativa errada.

Gabarito: "a".

Instituto AOCP

73. (Instituto AOCP/UEFS - Engenharia Mecânica - 2018)

A parede de uma casa de fornalha é construída em alvenaria com material refratário, com espessura de 0,3 m, altura de 0,5 m, comprimento de 1,2m e condutividade térmica de 1,8 W/(m.K). As Aferições executadas durante a operação e regime estacionário indicaram que, na área interna da fornalha, a temperatura era de 1400 K(Kelvin) e, na superfície externa da parede, 1150 K(Kelvin). Considerando a condução térmica unidimensional e a condutividade constante, a perda de calor através da alvenaria é

- a) 1500 W/(m.K).
- b) 1500 W/m².



- c) 900 W/m².
- d) 900 W.
- e) 900 W/(m.K).

Comentário:

Tranquilidade, Coruja! Um questão que nos cobra a aplicação da nossa fórmula de Fourier (tranquilidade), por conta do **regime estacionário**, com condução térmica unidimensional e condutividade térmica constante:

$$q_k = k \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{L}$$

Oras, sabemos que o mecanismo de **condução** está relacionado com a **espessura** do material no qual o fluxo de calor irá atravessar, pela transferência de energia cinética entre as colisões a nível molecular e atômico, que irá difundir o calor pelo material.

Perceba que para o cálculo da nossa área "A" da parede da fornalha, utilizaremos as dimensões dadas pelo enunciado. Assim, temos que $A = 0,5 \times 1,2 = 0,6 \text{ m}^2$. Coisa linda! Oras, como a nossa espessura "L" vale 0,3 m e temos a condutividade térmica $k = 1,8 \text{ W/(m.K)}$, matamos o probleminha:

$$q_k = 1,8 \cdot 0,6 \cdot \frac{(1400 - 1150)}{0,3} = 900 \text{ W}$$

Gabarito: "d".

74. (Instituto AOCP/IFBA - Engenharia Mecânica - 2016)

Em um cozinha, durante o processo de fervura de uma porção de água e ao utilizar o micro-ondas, uma copeira envolve os mecanismos de troca de calor. Desconsiderando a transmissão entre o recipiente e a água, esses mecanismos de troca de calor são denominados, respectivamente:

- a) convecção / radiação.
- b) convecção / convecção.
- c) radiação / condução.
- d) radiação / radiação.
- e) radiação / convecção.



Comentário:

Opa! Que isso, "novinhos" (rs)! Diz, aí, Estrategista: nessa altura do "campeonato" os caras virem com uma questão dessa é uma afronta a sua intelectualidade, "tchierto"? Coruja, conforme estamos "calejados", sabemos que no recipiente com o **fluido** de água se descolando, trocará calor por **convecção**! Claro, teremos o movimento desse fluido macroscopicamente. Por outro lado, o **micro-ondas** fornecerá energia para o fluido por meio de **ondas eletromagnéticas** (de baixa frequência) inofensivas ao alimento (se não, metade da humanidade já estaria morta) para aquecer o alimento, fazendo com que as moléculas de água presente nos alimentos vibrem, aquecendo a comida!

Gabarito: "a".

75. (Instituto AOCP/CASAN-SC - Engenheiro Mecânico - 2009)

Com relação às aletas pode-se afirmar que:

- a) são invariavelmente utilizadas em trocadores de calor.
- b) podem diminuir a perda de carga associada ao escoamento em seu redor.
- c) garantem que a taxa de transferência de calor de uma superfície aumente.
- d) representam uma resistência à transferência de calor
- e) devem ser evitadas para minimização de custos, e otimização de processo.

Comentário:

Opa! Mais um questão mais tranquila que passar manteiga em beijo de bode (como já diria o nosso grande mestre e colega, Prof. Guilherme Neves de Matemática e RLM, rs). Coruja, conforme comentei na parte teórica, a função das **aletas** é justamente **aumentar** a taxa de transferência de calor por contado aumento da **área superficial** de contato com o fluido. São dispositivos baratos e sua falta não guarda relação com otimização de processos e nem perda de carga (está relacionada com a troca de calor e não com o escoamento do fluido), além de não representarem resistência à transferência de calor, já que elas facilitam a troca (letras "b", "d" e "e", erradas). Além disso, não são invariavelmente utilizadas em trocadores de calor. Podem ter equipamento não-aletados. Dependerá do projeto (letra "a", errada).

Gabarito: "c".

Idecap

76. (Idecap/Corpo de Bombeiros - 2016)

Um sistema de refrigeração a ar usa aletas tipo pino conforme a ilustração apresentada. Sabe-se que m é o coeficiente de aleta dado por:

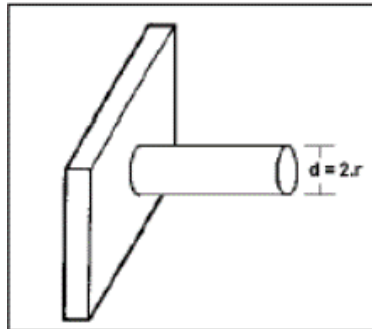
129



$$m = \sqrt{\frac{h \cdot P}{k \cdot A_t}}$$

,onde h é o coeficiente de transferência de calor por convecção, P é o perímetro da aleta, k é o coeficiente de transferência de calor por condução e A_t é a área da seção transversal ao gradiente principal de temperatura da aleta.

(Considere: $\pi = 3,14$, r = raio da aleta).



Determine “m” para a configuração de aletas tipo pino.

- a) $m = 2 \cdot \sqrt{\frac{hr}{k}}$
- b) $m = \sqrt{\frac{2k}{hr}}$
- c) $m = \sqrt{\frac{2h}{kr}}$
- d) $m = \sqrt{\frac{2kh}{r}}$

Comentário:

Questão muito tranquila, Coruja! Veja que a Idecan foi um "pai" para você, colocando a fórmula e o desenho esquemático da aleta. Oras, precisamos, na verdade, conhecer o **perímetro** da aleta (basta saber o perímetro de um cilindro) e a **área** da seção transversal (que é circular). Ou seja, questão de geometria, né, xuxu? Vamos lá. Do ensino "médio", sabemos:

Perímetro de uma circunferência: $P = 2 \cdot \pi \cdot r$;

Área da seção circular: $A_t = \pi \cdot r^2$;

Oras, jogando na fórmula dada no enunciado, temos:

$$m = \sqrt{\frac{h \cdot P}{k \cdot A_t}} = \sqrt{\frac{h \cdot 2 \cdot \pi \cdot r}{k \cdot \pi \cdot r^2}} = \sqrt{\frac{h \cdot 2 \cdot \pi \cdot r}{k \cdot \pi \cdot r^2}} = \sqrt{\frac{2 \cdot h}{k \cdot r}};$$

Gabarito: "c".

Marinha

77. (Marinha/CP-CEM - Engenharia Mecânica - 2020)

Um tubo cujo diâmetro externo mede 50mm é mantido a 200°C. Recobrimo o tubo existe um revestimento cuja espessura vale 75mm. A temperatura do exterior do revestimento é a mesma do ar circundante. Sabe-se que a potência térmica transferida para um trecho de tubo com comprimento igual a 1 metro é igual a 60πW. Para temperatura do ar circundante igual a 40°C, pede-se:

Dados: ln4 = 1,4

- a) o nome da propriedade do material que permite verificar seu desempenho como isolante térmico e qual a unidade dessa propriedade no sistema internacional de unidades; e (4 pontos)
- b) determinar o valor dessa propriedade do revestimento para as condições do problema. (4 pontos)

Comentário:

Oras, tranquilidade, Coruja! Questão nos cobra o conhecimento básico sobre a **condução** de calor em um **tubo** dentro do regime **permanente**. Vejamos cada alternativa:

a) Veja que ele quer saber qual a propriedade intrínseca e específica de cada material que permite verificar se ele é mais **isolante** quando ela é de **baixo valor** ou altamente **condutor** quando de elevado valor. Claro, estamos falando da **condutividade térmica**! Vimos que ela é expressa em termos de calor (energia) por metro Kelvin ou °C, no sistema internacional de unidades. Assim, as unidades são:

$$W/m.K \text{ ou } W/m.^{\circ}C;$$

b) Vimos que a fórmula para tubos considera a sua **área lateral** (que facilita a condutividade) multiplicada pela variação de temperatura interna e externa, dividido pelo **logaritmo neperiano** da razão do **raio externo** e o **raio interno** do tubo, dividido pelo nosso "k" da condutividade térmica:

$$q = \frac{2 \cdot \pi \cdot l \cdot k \cdot (T_i - T_e)}{\ln\left(\frac{r_e}{r_i}\right)};$$



Oras, se o diâmetro do tubo é de 50mm, o seu raio (nesse caso interno) é de 25mm. Coisa linda! Ainda, temos um revestimento de mais 75mm cobrindo esse tudo. Logo, o raio externo é a soma do raio interno mais os 75mm de espessura de material de revestimento. Logo, substituindo os valores na expressão, temos:

$$60\pi = \frac{2\pi \cdot 1 \cdot k \cdot (160)}{\ln(4)} = k = \frac{60 \cdot 1,4}{2 \cdot 160} = 0,2625 \text{ w/m}^\circ\text{C}.$$



ESSA LEI TODO MUNDO CONHECE: PIRATARIA É CRIME.

Mas é sempre bom revisar o porquê e como você pode ser prejudicado com essa prática.



1 Professor investe seu tempo para elaborar os cursos e o site os coloca à venda.



2 Pirata divulga ilicitamente (grupos de rateio), utilizando-se do anonimato, nomes falsos ou laranjas (geralmente o pirata se anuncia como formador de "grupos solidários" de rateio que não visam lucro).



3 Pirata cria alunos fake praticando falsidade ideológica, comprando cursos do site em nome de pessoas aleatórias (usando nome, CPF, endereço e telefone de terceiros sem autorização).



4 Pirata compra, muitas vezes, clonando cartões de crédito (por vezes o sistema anti-fraude não consegue identificar o golpe a tempo).



5 Pirata fere os Termos de Uso, adultera as aulas e retira a identificação dos arquivos PDF (justamente porque a atividade é ilegal e ele não quer que seus fakes sejam identificados).



6 Pirata revende as aulas protegidas por direitos autorais, praticando concorrência desleal e em flagrante desrespeito à Lei de Direitos Autorais (Lei 9.610/98).



7 Concurseiro(a) desinformado participa de rateio, achando que nada disso está acontecendo e esperando se tornar servidor público para exigir o cumprimento das leis.



8 O professor que elaborou o curso não ganha nada, o site não recebe nada, e a pessoa que praticou todos os ilícitos anteriores (pirata) fica com o lucro.



Deixando de lado esse mar de sujeira, aproveitamos para agradecer a todos que adquirem os cursos honestamente e permitem que o site continue existindo.